

# 地震

## 第 2 輯

### 第 4 卷 第 1 號

昭和 26 年

---

#### 論 說

- 地球の殻の密度分布と重い物質の分布……………島津康男…… 1
- 福井地震の走時曲線と地殻構造……………吉山良一…… 9
- 建築物の設計震度に就て……………竹山謙三郎……17
- “一樣回轉を得る装置”の改良に就いて……………田治米鏡二……23

#### 紹 介

- ソヴェートにおける地震學を中心とする固い地球物理の最近の研究  
……………宮村攝三……36
- 地震時報……………39
- 學會時報……………39

---

地震學會

## 地震學會々則

1. 本會は地震およびこれに関連する諸現象の研究並びにその應用に關する知識を交換、普及し震火災防止に貢獻することを目的とする。
2. 本會は地震學會と稱して、事務所を東京大學理學部地球物理學教室內におく。
3. 本會はその目的を達するため下記の事業を行う。
  - (i) 通常總會および臨時總會
  - (ii) 學術講演會
  - (iii) 會誌「地震」の發行
  - (iv) 其他必要な事業通常總會は毎年必ず1回適當な時期に行い、臨時總會は委員5名以上あるいは會員30名以上の請求のあつた時に開く。
4. 本會々員は普通會員及び贊助會員とする。會員となろうとする者は會費1ヶ年分をそえて本會事務所へ申込むものとする。
5. 地方あるいは特別の機關等に支部をおくことができる。
6. 委員長1名、委員若干名をおく。
7. 委員長は本會を代表し、各委員は編輯、庶務、會計等の事務を分擔し、そのために若干名の幹事をおくことが出来る。幹事は委員長が委嘱する。
8. 本會には顧問若干名をおくことができる。
9. 委員は普通會員の互選によつて選出する。委員長は委員の互選による。委員長及び委員の任期は1年とし、再選をさまたげない。
10. 委員長及び委員の更迭期は1月とする。途中補缺として加つたものの任期は前任者の殘存期間とする。

### 附 則

1. 普通會員の會費は當分の間年300圓とし、委員によつて適宜變更することができる。
2. 會費年1口(1000圓)以上をおさめたものを贊助會員とする。
3. 支部のないときは連絡幹事をおく。連絡幹事は委員長が委嘱する。

## 委 員 (1951年1月選出)

委員長 河角 廣

委員 早川正巳(地質調) 長谷川萬吉(京大) 西村英一(京大) 本多弘吉(仙臺氣)  
表 俊一郎(東大) 岡野敏雄(大阪氣) 和達清夫(中央氣) 加藤愛雄(東北大)  
川畑幸夫(九州氣) 河角 廣(東大) 吉山良一(九大) 坪井忠二(東大)  
村內必典(科博) 井上宇胤(中央氣) 松澤武雄(東大) 福富孝治(北大)  
淺田 敏(東大) 佐野浚一(名大) 佐々憲三(京大) 北澤五郎(其他)  
宮村攝三(東大) 宮部直巳(地理調) 廣野卓藏(中央氣) 末廣重二(中央氣)  
鈴木次郎(東大) [イロハ順]

庶務係委員 村內必典・宮村攝三・鈴木次郎

會計係委員 表 俊一郎・淺田 敏

編輯係委員 廣野卓藏・末廣重二

幹 事 山口弘次(編輯)・松本利松(庶務)

東京都文京區 東京大學內

地震學會



# 地球の殻の密度分布と重い物質の分布

東京大學理學部地球物理學教室 島 津 康 男

(昭和 26 年 5 月 30 日受理)

## Density Distribution and Concentration of Heavy Materials within the Earth.

Y. SHIMAZU

Geophysical Institute, Faculty of Science, Tokyo University

(Received May 30, 1951)

In his theory of density distribution in the mantle of the earth, K. E. Bullen assumed the existence of a density discontinuity at 400 km depth. He also assumed the chemical homogeneities on both sides of this depth, for the continuous and homogeneous mantle leads us to an unreasonable result as to the state of the core.

Recently, H. Brown who studied the chemical compositions of the earth's interior inferred from those of meteorites, concluded that the concentration of the metal phase would increase linearly with depth. The concentration of metallic materials will also have influence upon the density distribution.

A possible density distribution of the model having such a concentration is discussed in this paper.

The main results are as follows :

- (1) the density at the bottom of the mantle may be 6.289 (Table 3, Fig. 3),
- (2) the metal phase contents at the bottom of the mantle may be 20.4 per cent by weight (Table 3, Fig. 4),
- (3) the total contents of metal phase in the mantle may be 11.4 per cent by weight,
- (4) the atomic ratio of iron to silicate in the whole earth will be 1.559, this number is not affected by iron contents in the mantle.

### § 1. 基本になる考え

地球の内部で、地震波速度が各々の深さについて判つているとき、静水圧平衡の假定をすれば密度の分布が決められる。之は最初、E. D. Williamson, L. H. Adams<sup>(1)</sup>によつて考へられ、K. E. Bullen<sup>(2)</sup>によつて發展せられた方法で、Bullen の密度分布と呼ばれるものである。このようにして決められた分布は、次の二つの條件をみたすものでなければならぬ。一つは地球の全質量であり、他の一つは自轉軸のまわりの全體としての慣性能率で、何れも他の方法によつて値が決められているからである。後で述べるように、Bullen の方法は二階の微分方程式を解くことに歸するから、上の二つの條件を用い、初期條件として地表での密度が與えられれば、密度分布は一義的に決つてしまうわけである。處が、地震波の方か



ら判っているように、地表から 2900 km の處には不連続層があつて密度の方も不連続になっているものと思われる。従つてそこでの密度の變りぐあいが判らなければ、分布は一義的に決らない。それを救う爲に、Bullen は §2 に述べるような巧みな條件を用いた。その結果、地表から 2900 km の處まで (殻 (Mantle) と呼ぶ) さえも密度が一樣連続であるとする話が合わないことが判つた。そこで彼は地表から 400~900 km の部分は静水壓平衡が成り立っていない部分、即ち彼の方程式が成り立たない部分とし、更にそこを境として内と外ではものが變つていると考えた。そして密度の變りぐあいを適當にとることによつて矛盾のない分布を得た。400 km での不連続は地震波の方からも云われていたわけであるから、架空のものではないが、一種の模型には違いない。

一方、最近 H. Brown<sup>(3)</sup> は隕石の化學成分から地球の元素分布を推定する研究を發展させた。この種の研究は、これ迄にも地球化學者の手によつて多く行われて來たものであるが、彼は物理化學的な平衡條件から話を進めた。隕石のもつている元素分布を與えるに必要と思われる温度・壓力を推定して、すべての隕石が地球に似た物理化學的性質をもつていた遊星から生れたことを確めた。特に石相 (Silicate phase) と金屬相 (Metal phase) とに分配される Fe, Ni の量に注目すると、之らが主に壓力に支配されることが判る。一旦壓力と相の平衡常數との關係が決れば、逆に地球内部の元素分布を推定することが出来る。このように明快な分析的態度で、Brown は地球の殻に含まれる金屬と深さとの關係を得た。それによると、金屬は重量比で云つて深さと共に殆ど直線的にふえる (§4 の Fig. 4 参照)。金屬の相を左右するのは主に Fe であるから、密度分布にも大きな影響を與えるに違いない。ここで、殻が不連続な密度分布をもつていると考える Bullen の代りに、深さと共に段々に重いもの (主に Fe) がふえて行くような模型を考えることも意味があるであろう。このような模型によればどんな密度分布が期待されるか。之がこの論文の目的である。

## § 2. 基本の式

體積弾性率を  $K$  とすると、之は

$$1/K = (1/\rho)(\partial\rho/\partial p) \quad (2.1)$$

で定義される。剛性率を  $\mu$  として地震波の縦波横波の速度を夫々  $V_l$ ,  $V_t$  とすると、

$$V_l^2 = (1/\rho)(K + 4/3\mu), \quad V_t^2 = \mu/\rho \quad (2.2)$$

であるから、

$$K/\rho = V_l^2 - (4/3)V_t^2 \quad (2.3)$$

となる。一方、静水壓平衡が成り立っていれば

$$\partial p/\partial r = -\rho g, \quad g = k^2 M(r)/r^2 \quad (2.4)$$

但し、 $r$  は中心からの距離、 $k^2$  は萬有引力常數で、 $M(r)$  は半径  $r$  以内の部分に含まれる



質量である。故に

$$M(r) = M(a) - 4\pi \int_a^r \rho r^2 dr \quad (a: \text{地球の半径}) \quad (2.5)$$

$\rho$  と  $r$  との間には

$$d\rho/dr = (\partial\rho/\partial p)(\partial p/\partial r) + (\partial\rho/\partial\delta)(\partial\delta/\partial r) \quad (2.6)$$

の関係がある。第一項は静水圧による圧縮から来る密度のましを表わす。 $\delta$  はここでは重い物質の含まれるわりあいを表わす独立変数で、物理的には體積混合比と考えると都合がよい。

故に  $(\partial\rho/\partial\delta)$  は混合比と密度との関係で、 $(\partial\delta/\partial r)$  は混合比と深さとの関係を表わす。(2.1)

～(2.5) を (2.6) に入れて

$$d\rho/dr = -(\rho/K)\rho(k^2/a^2)[M(a) - 4\pi \int_a^r \rho r^2 dr] + (\partial\rho/\partial\delta)(\partial\delta/\partial r) \quad (2.7)$$

を得る。(2.7) を数値積分すれば密度分布が得られる。 $(\rho/K)$  は  $V_l$ ,  $V_t$  が判つていれば、

(2.3) によつて既知の係数である。

Bullen と同様に、積分の出発点は地表より 33 km の處とする。故に與えられた條件は、

地球の半径:  $a = 6338 \text{ km}$

全質量:  $M(a) = 5.897 \times 10^{27} \text{ gr.}$

全慣性能率:  $I(a) = 79.143 \times 10^{43} \text{ gr. cm}^2$

で、出発値は

$$\rho(a) = 3.32$$

である。今、

$$z = I/Mr^2 \quad (2.8)$$

なる量を定義すると、密度均一の球では  $z = 0.40$  となる。地球全體では  $z = 0.334$  であるから、内部へ行く程密度がふえることが期待されるわけである。殻より内の部分(之を核(Core)と呼ぶ)だけについても  $z < 0.40$  と考えられるから、之が殻の密度分布に關する一つの條件になる。

(2.7) では變数  $r$  は中心が原点となつてゐるが、我々の場合、積分は表面から出發するのであるから、變数を

$$x = 1 - (r/a) \quad (2.9)$$

に變換しておく。故に殻の部分は  $x = 0 \sim 0.452$  に當る。數値積分の方法としては、冪級數展開法を用いる。即ち

$$\left. \begin{aligned} K/\rho &= \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n, & \rho &= \sum_{n=0}^{\infty} b_n x^n, \\ (\partial\rho/\partial\delta)(\partial\delta/\partial x) &= C_0 + C_1 x \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

とおき、(2.7) に入れると、

$$b_0 = b_{2,0} = \text{given.},$$

$$A_0 b_1 = N b_0 - A_0 C_0,$$

$$2A_0 b_2 = -A_1 b_1 + N b_1 + P B_1 b_0 - (A_1 C_0 + A_0 C_1),$$

.....

$$n A_0 b_n = -(A_{n-1} b_1 + 2A_{n-2} b_2 + \cdots + (n-1) A_1 b_{n-1})$$

$$+ N b_{n-1}$$

$$+ P (B_{n-1} b_0 + B_{n-2} b_1 + \cdots + B_1 b_{n-2})$$

$$- (A_{n-1} C_0 + A_{n-2} C_1),$$

但し

$$A_n = a_n - 2a_{n-1} + a_{n-2},$$

$$n B_n = b_{n-1} - 2b_{n-2} + b_{n-3},$$

$$N = k^2 M(\alpha) / \alpha, \quad P = 4\pi \alpha^2 k^2 \quad (2.11)$$

を得るから、 $a_1, \dots, a_n$  が既知なら、 $b_1, \dots, b_n$  は逐次代入によつて求められる。但し、未知の量  $C_0, C_1$  を含んでいるが、之を (2.8) によつて決めるわけである。

### § 3. 数値積分

先ず  $(K/\rho)$  を  $\sum a_n x^n$  の形に展開しなければならない。 $V_l, V_t$  の値としては、H.

Jeffreys<sup>(4)</sup>(1939)のものを用いる(Fig. 1)。殻全體を一つの式で表わせるとよいのであるが、

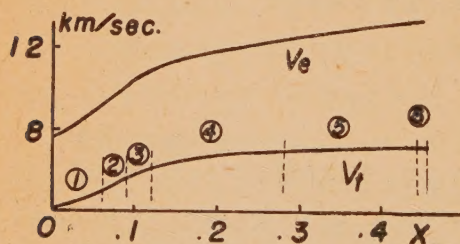


Fig. 1 Velocity distribution.

誤差を 1% 以内におさめる爲に、Fig. 1 に示したように全體を六つの部分に分け、順次に解をつないで行くことにする。従つて、 $V_l, V_t$  の變化が大きい部分では一段階の巾が狭くなる。 $a_n$  の値は Tab. 1 に示してある。

	①	②	③	④	⑤	⑥
$x$	0.00~	0.06~	0.09~	0.12~	0.28~	0.44~
0	34.8292	47.6588	62.4024	70.8409	95.0537	114.8015
1	2.21979	6.99697	4.23738	2.56657	1.99789	0.1948
2	- 0.42781	- 0.88324	- 1.21347	- 0.34981	- 0.17722	—
3	0.13796	- 0.19568	0.24621	0.04818	0.01864	—
4	0.00535	0.16014	0.09372	- 0.00366	- 0.00066	—
5	- 0.00637	- 0.03488	0.00532	0.00001	—	—
6	0.00059	0.00250	—	—	—	—

Table 1.  $a_n \cdot 10^{-10}$

積分結果の一部を示すと Tab. 2 のようになる。



$x$	depth (km)	$\rho$
0.00	33	3.32
0.06	413	$3.668 + 6.3100C_0 + 0.187160C_1$
0.09	603	$3.805 + 9.5962C_0 + 0.236420C_1$
0.12	794	$3.920 + 12.9208C_0 + 0.288659C_1$
0.28	1808	$4.460 + 31.5900C_0 + 0.642648C_1$
0.44	2882	$4.968 + 49.7999C_0 + 1.009977C_1$
0.452	2900	$5.009 + 51.0976C_0 + 1.019388C_1$

Table 2. Density at various depths.

Tab. 2 を更に積分すると,

$$\begin{aligned} \text{殻の質量} &= (36.179 + 185.526C_0 \\ &\quad + 3.84612C_1) \cdot 10^{26} \text{ gr.} \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{殻の慣性能率} &= (63.729 \\ &\quad + 265.870C_0 + 5.40926C_1) \cdot \\ &\quad 10^{43} \text{ gr. cm}^2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

従つて, 核の質量, 慣性能率は夫々

$$M_c = (22.791 - 185.526C_0 - 3.84612C_1) \cdot 10^{26} \text{ gr.} \quad (3.3)$$

$$I_c = (15.414 - 265.870C_0 - 5.40926C_1) \cdot 10^{43} \text{ gr. cm}^2 \quad (3.4)$$

となる. Bullen が最初考えたように, 殻全體が均質連続の物質から出来ているとすると, (3.3)(3.4) に於て  $C_0 = C_1 = 0$  の場合であるから, (2.8) に入れて

$$z_c = 0.57 \quad (3.5)$$

となる, 即ち, この模型は不合理である.

次に, 體積混合比  $\delta$  は深さ  $x$  に関して直線的にふえるものと假定しよう. 地表では  $\delta = 0$  と考えられるから

$$\delta = \kappa x \quad (\kappa: \text{常數}) \quad (3.6)$$

更に, 粗い近似として物質の混合による平均密度のまし ( $\partial\rho/\partial\delta$ ) は深さによらないものとしてみる. そのような場合には,  $(\partial\rho/\partial\delta) \cdot (\partial\delta/\partial x) = \text{const} \cdot \kappa = C_0$  であるから, (2.8), (3.3), (3.4) より  $z \leq 0.4$  の條件は

$$C_0 \geq 0.0256 \quad (3.7)$$

故に,

$$M_c \leq 18.041 \cdot 10^{26} \text{ gr.} \quad (3.8)$$

$$I_c \leq 8.608 \cdot 10^{43} \text{ gr. cm}^2 \quad (3.9)$$

殻全體の重量混合比は

$$M_M / (M_M + M_{Si}) \geq 0.114 \quad (3.10)$$

( $M_M$ : 混る重い物質の質量,  $M_{Si}$ : 地表にみられるような軽い方の物質の質量)

殻の底での密度は

$$\rho_{x=0.452} \geq 6.310 \quad (3.11)$$

となる.

#### § 4. 重い物質を Fe と考えた場合の密度分布

( $\partial\rho/\partial\delta$ ) が深さに関係しないなら, § 3 にみたように, 混っている物質の種類が何であつ



ても、混合比、密度分布の臨界値が得られる。併し  $(\partial\rho/\partial\delta)$  が深さに関係することを考慮するときは圧縮率が問題になるから、ものを指定しなければならない。そこで、地球の殻が、

	$\rho_{p=0}$	$K_{p=0}$	体 積 混 合 比
石の相 (Silicate phase)	3.32	$1.085 \cdot 10^{12}$	$1-\delta$
Fe の相 (Metal phase)	7.87	$1.683 \cdot 10^{12}$	$\delta$

の混合物から出来ているとすると、平均の密度は

$$\rho = \rho_{Fe}\delta + \rho_{Si}(1-\delta),$$

故に

$$\partial\rho/\partial\delta = \rho_{Fe} - \rho_{Si} \quad (4.1)$$

$\rho_{Fe}$ ,  $\rho_{Si}$  は共に圧力を通じて深さに関係する。有限歪弾性論によれば、

$$\rho = \rho_0(1+2\epsilon)^{3/2}, \quad P = K_0\epsilon(1+2\epsilon)^{5/2} \quad (4.2)$$

但し、 $\epsilon$  は外圧  $P$  による歪、 $\rho_0$ ,  $K_0$  は夫々外圧がない場合の密度、体積弾性率である。之らより  $\epsilon$  を消去して (4.1) に入れると  $(\partial\rho/\partial\delta)$  は Fig. 2 のようになる。之を更に深さの

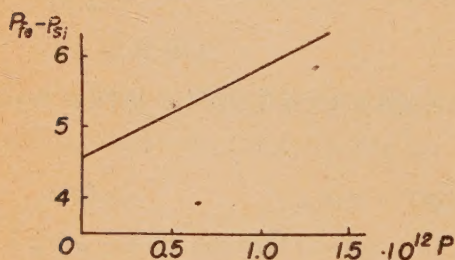


Fig. 2

関係に翻譯して近似的に、

$$(\partial\rho/\partial\delta) = 4.586 + 3.654x$$

を得る。故に

$$C_0 + C_1x = (4.586 + 3.654x)\kappa$$

或いは

$$C_0 = 4.586\kappa, \quad C_1 = 3.654\kappa \quad (4.3)$$

従つて  $(\partial\rho/\partial\delta)$  に及ぼす深さの影響は僅かである。とにかく、(3.3), (3.4), (4.3) を用いて、(2.8) は

$$\kappa \geq 0.005376 \quad (4.4)$$

となつて、結局臨界値として、Tab. 3, Fig. 3, 4 を得る。Fig. 4 には Brown が化学的に推定した金屬相の重量混合比が比較の爲に書いてある。Brown によると、石質隕石中の

$x$	Depth (km)	(1)	(2)	(3)	Metal phase content by weight
0.00	33	3.320	3.320	3.320	0.000
0.06	413	3.668	3.827	3.643	0.041
0.09	603	3.805	4.046	4.136	0.059
0.12	794	3.920	4.244	4.480	0.076
0.28	1808	4.460	5.251	5.137	0.151
0.44	2882	4.968	6.251	5.645	0.201
0.452	2900	5.009	6.289	5.676	0.204

Table 3.

Density at various depths.

(1) Continuous and homogenous model.

(2) Critical values for the model with concentration variation.

(3) Bullen's distribution. (from his "Introduction to the Theory of Seismology", 218, ('47)).





# 振動・波動関係連合講演会

例年、応用物理学会、応用力学会、電気学会、音響学会が行われて参りましたが今年度は新しく造船学会、下記により、行われることになりました。趣旨を御

記

1. 名 稱 昭和26年度 振動・波動関係連
2. 主 旨 振動・波動に関する Original な  
ね、相互に知識・情報を交換す
3. 開催期日予定 昭和27年3月15日(土) 16日
4. 会 場(予定) 東京大学工学部2号館 大講堂
5. 講演申込(切り) 昭和26年12月15日迄に(必着)
6. 講演の種類

- A. 振動・波動に関する Original な研究の
- B. 既に所属学会で発表された研究の  
演の傾向をもつ場合もある(20分)

会 員 各 位



（五）第二卷、民族の文化と経済の発展

（一）民族の文化

1. 言語の発展と文字の出現  
この民族は、古くから独自の言語を話し、その文化の発展と共に文字の出現に至った。文字の出現は、この民族の文化の発展を促進し、その歴史を伝える重要な手段となった。

2. 宗教と信仰  
この民族は、古くから独自の宗教と信仰を持っていた。その宗教は、自然の神や祖先の神を信仰し、その文化の発展に大きな影響を与えた。

3. 芸術と文学  
この民族は、古くから独自の芸術と文学を持っていた。その芸術は、自然の美や人間の感情を表現し、その文化の発展に大きな影響を与えた。

（二）民族の経済

この民族は、古くから独自の経済を持っていた。その経済は、自然の恵みや人間の労働によって成り立ち、その文化の発展に大きな影響を与えた。

この民族は、古くから独自の文化と経済を持っていた。その文化と経済は、自然の恵みや人間の労働によって成り立ち、その文化の発展に大きな影響を与えた。

この民族は、古くから独自の文化と経済を持っていた。その文化と経済は、自然の恵みや人間の労働によって成り立ち、その文化の発展に大きな影響を与えた。

## 外國語による學術雜誌發刊に就いての御知らせと御願ひ

地震學會委員長

外國語による報文を發行する件については、かねて皆様の御意見をうかがつておりましたが、去る5月25日の總會に於ける決議に従ひ、いよいよ實行にうつりたと思います。大體下記の要領によりますから、御一覽の上、どしどし御投稿をねがいます。また發行のあかつきには、御購讀をねがいます。また關係者にも御吹聴下さい。

1. 雜誌名は未定。(一案としてGlobus)
2. 内容は、地球の周體部分に關する研究論文。(地震、測地、内部構造、火山 Tectonophysics 等)



7. 文献は論文を一括してつづけること。
8. 論文著者はなるべく page charge (印刷1頁1500圓程度) を負擔していただきたい。
9. 印刷1頁程度 (約800words) のshort note も歓迎する。この場合はpage charge不要。
10. 寄稿者は地震學會々員に限らない。
11. 當分の間坪井忠二氏をeditorとする。なお數名の方にassistant editor及びassociate editorをおねがいする豫定。
12. 原稿は 東京大學理學部地球物理學教室 坪井忠二宛 に送ること。その際別刷希望部數と page charge 負擔が可能か否かを明記すること。
13. 原稿は editor において若干手を入れ、または訂正をおねがいすることがある。
14. 發行は當分不定期とする。原稿が相當な分量だけ集まり次第發行する。
15. 購讀は會費によらず1冊賣りとする。値段はその都度かわるが大體 100〜200圓 程度の豫定。
16. 第1號は 1952年早々發行を目標とする。





以下の御通知

学会の5学会で振動・波動・音響関係の連合講  
座会兼電気通信学会及び物理学会の参加を得ま  
す御参加下さいますようお願い申し上げます。

と表に併せて、各学会の2の方面の業績報告を兼

会宛に200字程の説明をつけて申込む。

紹介する意味で講演するもの(多少総合講

26年10月15日

地震学会





金属相に於て、Fe は平均 88.58% を占めているから、金属相を Fe と考えても殆ど誤りがない事になる。

なお、密度分布が決れば (2.2) から弾性常数の分布が決つて了う。その結果を Fig. 5 に示す。(1), (2), (3) の意味は Fig. 3 の場合と同じである。又、(3.10) に對應して地殻全體の重量混合比を計算すると、金属相は全質量の 11.4% を占めている事が判る。

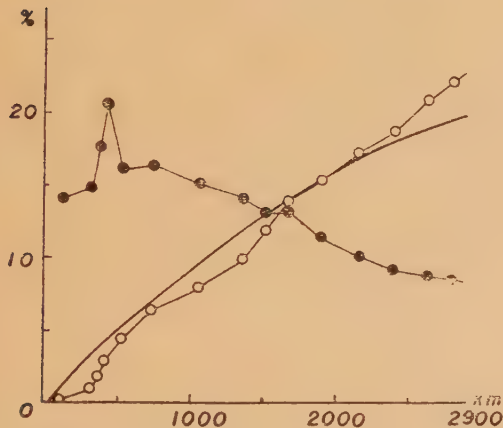


Fig. 4 Metal phase content by weight.

- Metal phase by Brown.
- Combined iron in silicate phase by Brown.

うに観測事實として  $(K/\rho)$  は 400~500 km の深さで異常を示す。今の場合、體積混合比が深さに對して直線的であるという假定をしたが、その結果は Fig. 5 にみるように  $(K/\rho)$  の異常性を弾性常数にだけおしつけることになつた。處が Brown の結果によると、金属相は大體深さと共に直線的に増えるが、石の相に化合物として含まれている Fe の混合比は 400~500 km の深さで明瞭な異常を示すのである。Fig. 4 に Combined iron と書いたのがそれである。この事實は、Fe と共に石の相の重要な構成元素である Mg にも當てはまる。その原因は問わないとしても、400~500 km の深さで化學的にも異常が見られる事は注目すべきであろう。我々の模型では、此の事を考慮してないが、密度分布の方にも影響を與える事は確かである。嘗て J. D. Bernal<sup>(5)</sup> は地殻を構成する物質の多形轉移 (Polymorphic tran-

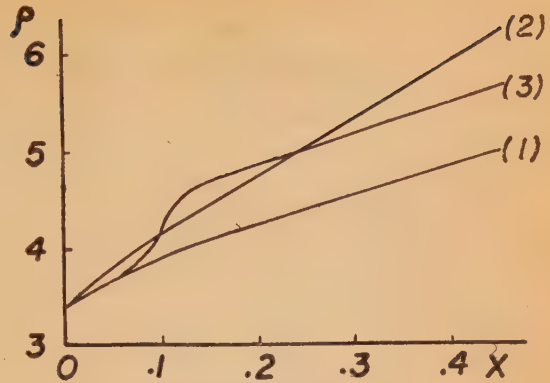


Fig. 3 Density distribution.

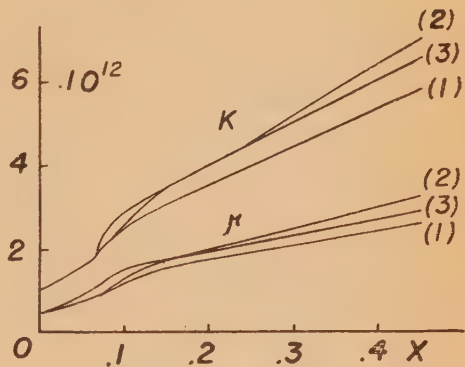


Fig. 5 Distribution of bulk modulus  $K$  and of rigidity  $\mu$

ここで、金属相の分布についてももう少し考察を進めてみよう。Fig. 1 にみるよ

sition) によつて、そこでの物性の不連続を説明しようとした。このように物理的な原因と考える他に、化学的にも 400~500 km の不連続層が考えられる事は重要と思われる。併し、混合比の變化と弾性常數、乃至は弾性波速度との關係を理論的に導くことは困難なので、今の處詳論はしない。

### § 5. 原子比 (Atomic ratio)

§ 4 の結論を原子比で表わすことは、元素分布を議論する場合に必要である。核は全部 Fe であるとして、地球全體では

$$\begin{aligned} M_{Si} &= 36.18 \cdot 10^{26} \text{ gr.} \\ M_{Fe} &= 4.65 \cdot 10^{26} (\text{殻}) + 18.14 \cdot 10^{26} (\text{核}) \\ &= 22.79 \cdot 10^{26} \text{ gr.} \end{aligned}$$

一方原(分)子量は  $A_{Si}=142$ ,  $A_{Fe}=56$  なる故 ( $A_{Si}$  は岩石の平均分子量をとる), 原子比は

$$(N_{Fe}/N_{Si}) = (M_{Fe}/A_{Fe}) / (M_{Si}/A_{Si}) = 1.599 \quad (5.1)$$

となる。石の相の深さによる變化を考えればこの値はもう少し大きくなるであろう。之に對して Goldschmidt が隕石について得た値は 0.89, Unsöld が太陽大氣について分光學的に得た觀測値は 2.7, Brown が物理化學的に地球について推定した値は 1.7 となつてゐる (何れも文獻 (3) より)。我々の計算では、(2.6) の第一項によつて  $M_{Si}$  は與えられてしまうから、 $M_{Fe}$  の値は地球全體として決つてしまい、殻と核とに對する  $M_{Fe}$  の分配を變えても (5.1) の値は變らない。

終りに、この研究に當つて絶えざる御指導を賜つた坪井忠二教授、及びこの研究の糸口を與えられ種々討論をして下さつた竹内均博士に、厚く御禮を申し上げる次第である。なお、宇田川榮作君は一部の計算を手傳つて下さつた。併せて感謝の意を表したい。

### 文 獻

- (1) E. D. Williamson & L. H. Adams, J. Wash. Acad. Sci., 13, 413, ('23).
- (2) K. E. Bullen, M. N. R. A. S. Geoph. Suppl., 3, 395, ('36), etc.
- (3) H. Brown & C. Petterson, J. Geol., 55, 405, 508, ('47); 56, 85, ('48); H. Brown, Rev. Mod. Phys., 21, 625, ('49).
- (4) W. M. Elsasser, Rev. Mod. Phys., 22, 1, ('50) より
- (5) J. D. Bernal, Observatory, 59, 268, ('36).



# 福井地震の走時曲線と地殻構造

九州大學理學部物理學教室 吉 山 良 一

(昭和 26 年 5 月 25 日 受理)

## On the Travel of Seismic Waves from the Fukui Earthquake of 1948 and the Crustal Structure in Japan.

R. YOSHIYAMA

Physical Institute, Faculty of Science, Kyushu University.

(Received on May 25, 1951)

Examining the seismological data for the Fukui Earthquake, June 28, 1948, the author obtained the travel-time curves of  $\bar{P}$ ,  $P^*$  and  $P_n$  and determined the depth of the origin of  $P$ -wave of the earthquake together with the layered structure of the earth's crust in Japan. The latter result does not agree with those obtained previously by other authors. The layers corresponding to  $\bar{P}$  and  $P^*$  were respectively found to be 35 km and 14 km in thickness.

1. 昭和 23 年 6 月 28 日の福井地震の走時曲線に就いては、既に廣野、越川、井上三氏の調査研究が發表され、震央は今迄にない精度できめられている。強いてその差を擧げて、 $(36^\circ 07' N; 136^\circ 15' E)$ ,  $(36^\circ 08.6' \sim 08.4' N; 136^\circ 17.2' \sim 17.5' E)$ ,  $(36^\circ 08.15' \pm 0.002' N; 136^\circ 16.82' \pm 0.019' E)$ ,  $(36^\circ 09' N; 136^\circ 13' E)$  の 4 に過ぎないが、一方震源の深さに就いて、越川氏は第 1 報では 14 km、昭和 24 年 11 月の本會講演會では約 20 km と發表された様に記憶するが、最近の發表では  $33.03 \pm 0.11$  km と求められ、従つて最小震央距離に於いて第 1 報には  $\bar{P}$  波が、第 2 報に於いては  $P^*$  波が想定されている。之に對して井上博士は、震央距離 150 km に至る迄見掛けの速度 5.5 km/sec となり、 $\bar{P}$  波走時曲線を引くことも出来ると述べて居る。筆者は越川氏の第 1 報に記された震央  $(36^\circ 08' N; 136^\circ 17' E)$  と觀測結果を用いて走時曲線を畫き、それを震源の深さ約 30 km とされている昭和 21 年南海道大地震の第 1 波の走時曲線、及び昭和 23 年 4 月 18 日の所謂その餘震の走時曲線と比較し、その結果推定される次の事柄を前記講演會で述べておいた。即ち (1) 3 地震の走時曲線は、それぞれの震源の深さが略々等しいことを示している。(2) 震央距離 100 km 以内の走時曲線は僅か 2 點ではあるが見掛けの速度 5.4 km/sec となり、震源の深さを約 30 km とすれば眞の傳播速度 5 km/sec の所謂  $\bar{P}$  波に由るものとしても矛盾はない。(3) 然し  $V_{\bar{P}} = 5$  km/sec の層の厚さは 35 km となつて從來の数値と著しく異なる。(4) 3 つの走時曲線を並べて見ると次第に觀測精度がよくなつたことが明瞭で、見掛けの速度 7.5~7.6 km/sec の線が明確となり、特に福井地震では之に  $\pm 1.6$  sec の巾を有たせれば震央距

離 100 km 以上の点は殆んど全部その中に入つて了う。(5) 従つて 6.2 km/sec の走時曲線は明瞭でなく、層の厚さは約 15 km と云う可成り小さい値となる。(6) 但し上述の計算は問題にしている波が“一點に還元される震源”から発生したとする假定の下に行はれた。

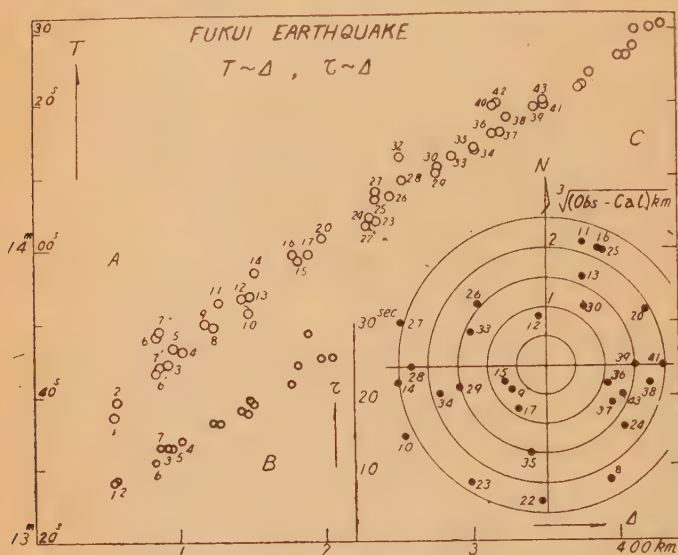


Fig. 1

第1圖 A はその際用いた走時曲線で震央距離を計算するに當つては、僅かの相違で圖には殆んど現われないのであるが、上述の緯度は地理學的緯度が與えられたものとして、河角博士の表に與えられている觀測所の緯度と共に地心緯度に換算し、次の式を用いた。

$$\Delta^2 = \delta\varphi'^2 + \cos\varphi_0' \cos\varphi' \delta\lambda^2$$

$$(1' = 1.850 \text{ km}) \dots (1)$$

ここに  $\Delta$  は震央距離を、 $\delta\varphi'$  は震央と觀測所の地心緯度の差を、 $\delta\lambda$  は同じく經度の差を、何れも“分”單位で表わしたもので、 $\varphi_0'$ 、 $\varphi'$  はそれぞれ震央と觀測所の地心緯度である。(1)式による計算の精度は震央距離 1000 km 以内に對して有効數字 3 桁を與えるが、觀測所の緯度、經度が“分”迄與えられているに過ぎないから近距離の精度はそれほどには望めない。

2. 震央に近い 7 點、金澤、敦賀、岐阜、富山、彦根、伊吹山、高山をとつて、越川、廣野、井上三氏による 3 つの震央、即ち (1) ( $36^{\circ}08'N$ ,  $136^{\circ}17'E$ ), (2) ( $36^{\circ}07'N$ ,  $136^{\circ}15'E$ ), (3) ( $36^{\circ}09'N$ ,  $136^{\circ}13'E$ ) に對する震央距離を第 1 表に示す。觀測點には各圖とも、順次に、廣野、越川兩氏のものと共通の番號をつけておく。

この内、富山の緯度は本多博士著「地震學概要」と理科年表には  $36^{\circ}42'$  となつていたので前回はそのに依つたが、前記河角博士の表と H. O. Wood 氏の表には  $36^{\circ}41'$  とある。震央距離も“分”の端数は實際は無意味であるが參考迄に記す。發震時  $T$  (秒以下だけ記す) と初期微動繼續時間  $\tau$  は前掲の報告から轉載したものである。

第 1 圖にも明かである様に、金澤 (1) と敦賀 (2) は、 $\Delta$ ,  $T$ ,  $\tau$  を殆んど等しくしてひとかたまりとなり、又岐阜 (3) 富山 (4) 彦根 (5) の 3 點がひとかたまりとなつてゐる。金澤、敦賀の 2 點だけについて云えば震央 (1) だけが順當で、他は走時と震央距離との關係が逆であ



Table 1

	$\varphi$ (N) 地理緯度	$\varphi'$ (N) 地心緯度	$\lambda$ (E)	$\Delta$ (分)			$\Delta$ (km)			$T'$ (sec)	$\tau$ (sec)
				(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)		
1. 金 澤	36° 32'	36° 21'	136° 39'	29.9	31.6	31.7	55.3	58.4	58.6	37.3	8.2
2. 敦 賀	35 39	35 28	136 04	30.9	29.4	30.9	57.2	54.4	57.2	39.5	8.5
3. 岐 阜	35 24	35 13	136 46	49.9	49.8	52.4	92.3	92.1	96.9	45.1	12.9
4. 富 山	36 41	36 30	137 12	55.3	57.2	57.4	102.3	105.8	106.2	46.2	14.0
5. 彦 根	35 16	35 05	136 15	52.0	51.0	53.0	96.2	94.4	98.1	46.7	13.1
6. 伊吹山	35 23	35 12	136 23	45.3	44.5	46.7	83.8	82.3	86.4	48.2	10.9
7. 高 山	36 09	35 58	137 15	46.9	48.5	50.2	86.7	89.7	92.9	49.1	12.9

る。伊吹(6)と高山(7)の2點は震央を何れの3點に假定しても、我々が一般に予想する走時曲線の傾向から離れ、又後に述べる理由からも約5秒の観測誤差(多分時計が進んでいたか、time-mark から初動迄の長さの測定誤差の爲めと思われる)があるらしく思われるので一應除外して計算する。走時曲線の圖に於いて、岐阜、富山、彦根の3點が形成する三角形の面積を求めて見ると、(1)、(2)、(3)の震央に對してそれぞれ 5.9 km·sec, 9.7 km·sec, 6.8 km·sec, となり、震央(1)に對するものが最小で、上述の7観測點に關する限り震央(1)(36°08'N, 136°17'E)が最も妥當と考えられる。

3. 次に震央距離と初期微動繼續時間との關係は第1圖Bの如く、上述7點は略々直線上に並び、観測値は何れも適當なものと思われる。伊吹、高山は僅かではあるが、第1圖Aの走時曲線に於けると同様、他の5點に比べると平均直線から外れている。然し第1圖Aの様に平均走時曲線の一方に偏在しているのではなく、此の場合平均直線は明かに2點の中間を貫いているから、震央を動かして  $T-\Delta$ ,  $\tau-\Delta$  兩曲線に於ける7點を都合よく平滑曲線の上に並べることは出来ない。第2圖は  $T-\tau$  の關係を示す。此の關係は多くの著者に指摘されている様に  $V_P/V_S$  が一定ならば直線となり、(此の値が深さと共に不連続的に變化しているならば、折れ曲つた數本の直線となる)その發震時( $T$ )軸に對する傾きは次の式で與えられる、

$$d\tau/dT = (V_P/V_S) - 1 \quad \dots\dots(2)$$

$V_P/V_S$  が深さと共に不連続的に變化している場合は少し複雑で、種々の  $P$  相及び  $S$  相の組合せによつて異なる。 $(V_P/V_S)$  を (5.0; 3.0) km/sec, (6.2; 3.7) km/sec とすれば(2)の値はそれぞれ 0.67, 0.68 となり、California に於いて Gutenberg 教授等が求めている値

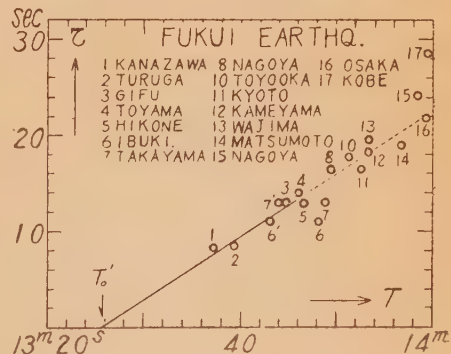


Fig. 2

(5.5; 3.25) km/sec をとれば 0.69 となる。又筆者の深発地震の調査では、Mohorovičić の不連続面から内部 400 km 位迄は 0.78 となつてゐる。即ち地表近くに於ける 0.67 を最小値として  $V_P$  の大いさと共に増加する傾向が見られる。第2圖の直線は金澤、敦賀の中點 (38.4 sec, 8.3 sec) と岐阜、富山、彦根の重心 (46.0 sec, 13.33 sec) とを結ぶもので、

$$d\tau/dT = 5.0/7.6 = 0.66 \quad \dots\dots (3)$$

$\tau=0$  となる  $T$  の値、 $T_0' = 25.8$  sec. となる。(3) の値は観測値が 0.1 sec 逆しか與えられていない事を考えると、豫期された 0.67 に非常によく一致してゐると云える。又之が 0.67 になる様に直線をとつても、 $T_0'$  はせいぜい 0.2~0.3 sec 大きく(遅く)なるに過ぎない。

伊吹、高山の  $\tau$  の値は第1圖 B から略々妥當と思われることは既に述べた通りであるが、第2圖に於いて、之等2點を上述の直線上にのせるには何れも發震時を約 5 sec 早くすればよく、又そうすれば前にも述べた様に、第1圖 A に於いても之等2點が他の點から想像される走時曲線上に來ることになつて非常に都合がよい。第1圖 A、第2圖に於いて之等2點の發震時に假りに 5.0 sec の補正をして (6') (7') として示しておく。

猶第2圖に於いて7點以外の観測點は  $P^*$  或は  $P_n$  波の走時曲線に相當する點であることも考えられるのであるから必しも上記直線の延長上に來るとは限らない。

4. 第1圖 A に於いて金澤、敦賀の中點 (56.2 km, 38.4 sec) と岐阜、富山、彦根の重心 (96.9 km, 46.0 sec) とを結ぶ直線から求められる見掛けの速度  $\bar{V} = 5.35$  km/sec を、之等2點の中間距離、即ち  $\Delta = 76.6$  km\* に於ける見掛けの速度として今後の計算を進める。

走時曲線の理論によれば、震央距離  $\Delta$  に於ける見掛けの傳播速度を  $\bar{V}$ 、その點に現われる震波線が震源に於いて鉛直線となす角を  $i$ 、その波の眞の傳播速度  $V$  の震源に於ける値を  $V_h$  とすれば次の關係式が成立する、

$$\bar{V} = V_h / \sin i, \quad \Delta \leq h \tan i \quad \dots\dots (4)$$

但し  $h$  は震源の深さとし、等號は  $V$  が一定の場合、不等號は  $V$  が地表近くで小さくなつてゐる場合である。従つて震源の深さはまだ決つていないが、それが  $V_P \leq 5.35$  km/sec のところにあることは明である。ここで假定が必要である。即ち、勿論  $5 < V_P \leq 5.35$  km/sec である様な深さが無いとは云えないが、若し地殻を2層に分けるとすれば日本では  $V_P = 5$  km/sec のものと  $V_P = 6.1 \sim 6.2$  km/sec のものだけが考えられてゐる様であるから、震源を  $V_P = 5.5$  km/sec 層の中に考えることにする。 $\Delta = 76.6$  km に於ける  $\bar{V} = 5.35$  km/sec であることから  $\operatorname{cosec} i = 1.07$ 、 $h \geq 29.2$  km が得られる。若し震源から上の方で一樣に  $V = 5$  km/sec であるならば、 $h = 29.2$  km であつて、更に ( $\Delta = 56.2$  km,  $T = 38.4$  sec) を用いて、震源

\* 2點 ( $\Delta_1 = 56.2$  km,  $\Delta_2 = 96.9$  km) の算術平均をとつたが、幾何平均 (73.7 km) をとるのが合理的である。此の爲め以下の計算では震源の深さが 4% ほど深く見積られることになる。

に於ける發震時  $T_0=25.7$  sec が得られる。

5. 次に地表に  $V$  の値が小さい表面層が存在する場合の補正を考える。此の場合震源の深さをそのままに置けば見掛けの速度  $\bar{V}=5.35$  km/sec を與える震波線は屈折の爲めに 76.6 km よりも  $\delta\Delta$  だけ小さい震央距離の點に現われる。それを補う爲めには震源を  $\delta h$  だけ深くせねばならぬ。表面層の厚さを  $H$  km, その中の波の傳播速度を  $V'$  とすれば, 第 3 圖に示す如く,

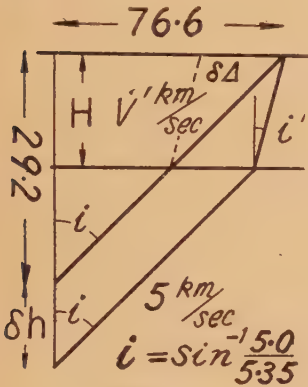


Fig. 3

$$\left. \begin{aligned} \delta\Delta &= H(\tan i - \tan i') \\ \sin i/5 &= \sin i'/V' \end{aligned} \right\} \dots\dots(5)$$

但し  $i$  は此の場合前述の通り震源に於いて  $\bar{V}=5.35$  km/sec を與える震波線が鉛直線となす角で,  $\operatorname{cosec} i=1.07$ ,  $i$  は 5 km/sec 層と表面層との境界面に於けるこの震波線の屈折角とする。 $\delta\Delta$  と  $\delta h$  は簡単な幾何學的關係から

$$\delta h/H = \delta\Delta/H \tan i = 1 - \tan i'/\tan i \dots\dots(6)$$

(5), (6) 及び  $\operatorname{cosec} i=1.07$  から  $H$  に對する  $\delta h$  を求めることが出来る。種々の  $V'$  の大いさに對する  $H$  の厚さ 1 km に就き,  $\delta h$  の大いさを km 單位で第 4 圖に示す。  $V'=3$

km/sec, 2 km/sec, 1 km/sec に對してそれぞれ  $\delta h=0.74, 0.85, 0.93$  km となる。 $H$  と  $V'$  の値に就いて考えるに, 局部的には, 種々の組合せが考えられるであろうが, 諸所に於ける地震探鑛の結果, 特に京都大學佐々博士等による福井, 鳥取, 名古屋, 京都, 高知等に於ける地震探鑛の結果と地震波の波長を併せ考慮に入れると, 普遍的なものとしては  $V'=2\sim 3$  km/sec,  $H=1$  km 位にとれば十分なのではないかと思う。

上述の如く表面層が存在し, 又その爲めに震源を深くとらねばならないとすれば, 震源に於ける發震時  $T_0$  は前に求めたものよりも早くなければならない。その差  $\delta T_0$  と  $\delta h$  或は  $H$  との關係は嚴密に云えば簡単な形ではない。何故なれば,  $\Delta=56.2$  km 及び 96.9 km に於ける發震時が觀測されているのであるから, 嚴密に云えばこの何れかに現われる震波線を定め, 走時を計算して, それと上に計算した表面層のない場合の走時との差をとれば, それが  $\delta T_0$  に等しくなるわけであるが,  $\Delta=76.6$  km に現われる震波線を定めるときと異り, 見掛けの速度が與えられてい

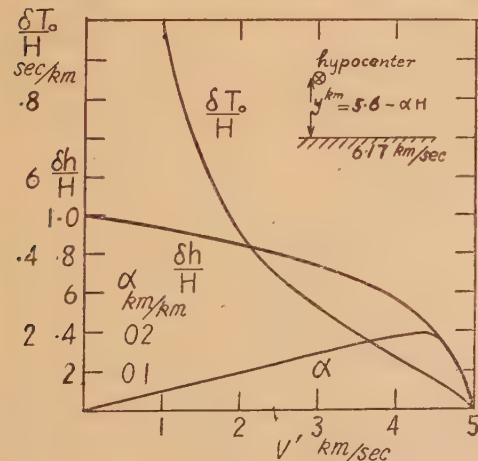


Fig. 4



いので、その計算が簡単でないからである。

然し乍ら十分に必要な精度を保つて次の近似計算によつて  $\delta T_0$  と  $H$  との関係を求めることが出来る。即ち震源の深さを甚だしく變化させれば走時曲線の曲率が變化するため、その両端を (56.2 km, 38.4 sec), (96.9 km, 46.0 sec) と押えてもその中間は一致しないが、今我々が考えている程度の深さの變化で生ずる  $\Delta=56.2\sim96.9$  km に於ける走時曲線の曲率の、或は形の變化を無視すれば  $\Delta=76.6$  km に於ける走時の違い (表面層がある場合とない場合の) を以て  $\Delta=56.2$  km 或は 96.9 km に於ける違い、即ち  $\delta T_0$  に等しいとおくことが出来る。この近似計算に依れば、

$$\left. \begin{aligned} \delta T_0 &= (H/V' \cos i') \{1 - (\sin^2 i' / \sin^2 i)\} \\ \sin i / 5 &= \sin i' / V', \operatorname{cosec} i = 1.07, \end{aligned} \right\} \dots\dots (7)$$

によつて簡単に  $(\delta T_0 / H)$  sec/km が求められる。  $H=1$  km に對する  $\delta T_0$  を  $V'=3$  km/sec, 2 km/sec, 1 km/sec に就いて計算すると、それぞれ 0.26 sec, 0.45 sec, 0.98 sec となる。猶  $V'=3$  km/sec の場合に就いて、 $\Delta=56.2$  km に於ける發震時を押えて計算すれば  $\delta T_0 = 0.25$  sec となり、近似計算による誤差は實際には 0.005 sec の過大評價にすぎぬ。又  $V'=1$  km/sec の時には  $\delta T_0 = 0.98$  sec となり再び殆んど一致する。 $V'$  が非常に小さいと走時曲線の曲率は結局、表面層がない場合に近づくからである。 $\delta T_0$  の大いさも第4圖に示す。

$V'=3$  km/sec,  $H=1$  km とすれば、震源に於ける發震時  $T_0=7$  h 13 m 25.4 s となり、震源域の大いさは  $P$  波の走時にして、秒の端數乃至1秒位の大いさに求められる。震源の深さ約 30 km\* となる。

6. 上述の所謂  $\bar{P}$  走時曲線に續く部分の決定を試みる。既に述べた様に 7.5~7.6 km/sec の線に  $\pm 1.6$  sec の幅をもたせると宮津 ( $\Delta=118$  km) から山形 ( $\Delta=431$  km) に至る殆んど全部の點がその中に入る。觀測精度のことを考えると、少くともこの地震とその觀測精度を同じくする他の地震の走時曲線を併せ調査せねば、筆者の手許にある資料だけでは、それ以上のことを云うことは困難に思われるので、ここには 6.2 km/sec の線があるとすればそれをどこに引くことが出来るかを探して見る。計算の1つの標準として最小二乗法を用いた。

富山、彦根、名古屋から松本に至る全部の觀測點9で見掛けの速度をきめると 5.38 km/sec となつて豫想のものに達しない。松本を除いて8點できめると 6.22 km/sec の線が求まる。從來  $P^*$  波の速度としては 6.1~6.2 km/sec, 越川氏は本地震に對して第1報で 6.2 km/sec, 第2報では 6.1 km/sec と求めて居られるので筆者は之等の平均として 6.17 km/sec を  $P^*$ -波の速度とし、上記9點から次式をその走時曲線として計算を進めて見た。

\* 詳しく云うと地表面層の影響と逆方向に約 1 km 過大評價になる素因があることを前脚註に述べた。

$$\Delta = 6.17 T - 188 \text{ (km)} \quad \dots\dots(8)$$

ここに  $T$  は 13 m 00 s を零線として測つた時刻を秒で表わしたものである。

震源から此の 6.17 km/sec 層の表面迄の深さを  $y$  (km) とすれば、之は、震源の深さと共に、假定せられる地表面層の厚さ  $H$ ; その中の速度  $V'$  の大いさに左右される。その式は

$$2y = \{188 - 6.17(T_0 - \delta T_0)\} \tan i_1 - (29.2 + \delta h - H) - H \tan i_1 \cot i_2 \quad \dots\dots(9)$$

ここに  $T_0$  は § 4 に求めた  $T_0 = 25.73 \text{ sec}$ ,  $\delta T_0$  は (7) で求められる地表面層による  $T_0$  の変化量,  $\delta h$  は (6) で求められる地表面層による震源の深さの変化量,  $H$  は上述の如く地表面層の厚さ, 又その中の速度を  $V'$  とすれば,  $\sin i_1 = 5.0/6.17$ ,  $\sin i_2 = V'/6.17$ , (9) は結局,  $y = 5.6 - \alpha H$ , の形となり,  $\alpha$  は  $V'$  の函数であるが, 第 4 圖に示す如く,  $V' = 0$  及び 5 km/sec では何れも 0,  $V' = 4.3 \text{ km/sec}$  の時最大値約 0.02 km/km をとるにすぎないから, 震源の深さは假定する地表面層の存在に影響されるが, その震源から 5 km/sec 層と 6.17 km/sec 層の境界面迄の深さは殆んど影響されず, 約 5.6 km となる。従つて 5 km/sec 層の厚さは 35 km よりは少し小さい程度に求められる。

此の数値は (8) 式の假定を変えれば変わる。地表面層がない ( $H=0$ ) として, 上記  $y_0 = 5.6 \text{ km}$  なる数値がどの程度変わるかを調べる。一般に  $P^*$ -走時曲線の枝は  $\Delta = VT - \beta$  とおくことが出来る。(9) に就いて  $H=0$  とすれば,

$$2y_0 = [\beta - 25.73 V] \tan i_1 - 29.2, \quad \sin i_1 = 5.0/V \quad \dots\dots(10)$$

$V = 6.0, 6.1, 6.2 \text{ km/sec}$  に對して  $\beta = 175 \sim 200 \text{ km}$  の範圍に就いて  $y_0$  を計算して第 5 圖 (實線) に示す。勿論  $y_0 < 0$  の範圍は無意味である。問題は  $\beta$  がどの様な値をとるかであるが,  $P^*$ -走時曲線上の 1 點を押えれば  $\beta$  は假定された  $V$  の値によつて定まる。例えば富山, 彦根の中點 (46.45 sec, 99.25 km) を押えろと  $\beta = 46.45 V - 99.25$  となる。即ち

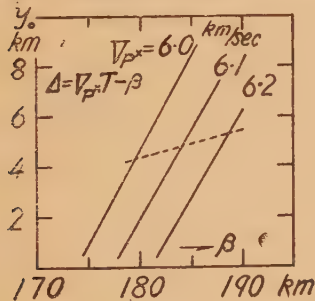


Fig. 5

上記  $V$  の値に對してそれぞれ  $\beta = 179.5; 184.1; 188.7 \text{ km}$  となる。従つて  $V = 6.0, 6.1, 6.2 \text{ km/sec}$  それぞれに對して  $y_0$  の値が定まる。第 5 圖にはそれ等の値を點線で結んで示してある。勿論富山, 彦根の中點を押えることには格別の根據があるわけではないから, この點線は或る範圍動き, 交りに依つて  $y_0$  の値が與えられる。

7. 次に  $P_n$  走時曲線の部分を, 宮津 ( $\Delta = 118 \text{ km}$ ) から山形 ( $\Delta = 430 \text{ km}$ ) 迄の内, 前橋 (32), 新潟 (40), 東京 (42) の 3 點を除いて, 38 の観測點できめる。

$$\Delta = 7.70 T - 268.6 \quad \dots\dots(10)$$

が得られる。 $T$  は (8) に於けると同様に 13 m を零線にし, 秒で測つた走時である。 $\Delta = 350 \text{ km}$  の富崎迄の 29 點できめると,

$$\Delta = 7.56 T - 260.0 \quad \dots\dots(11)$$

となる。(10)を採用して 6.17 km/sec 層の厚さを求めると約 16 km, (11)を採用して 6.17 km/sec 層の厚さをきめると 13.8 km となる。即ち 7.5 km/sec 面の地表からの深さは通計約 50 km となつて従来豫想されていたものに略々一致するが、 $\bar{P}$  層と  $P^*$  層の厚さの関係は一致しない。

猶 (11) 式の 29 観測點に對する偏差の二乗の總和は、2165.76 km<sup>2</sup>, 1 つの観測點に對する平均誤差は、 $\pm 8.8$  km ( $\equiv \pm 1.2$  sec) となつて豫想通りである。勿論直線の幅は更に  $1/29$  で除して、約  $\pm 1.6$  km としてよいであろう。(11) 式を用いた場合の、各観測點の偏差 (震央距離に就いて obs.-cal. をとり、圖示の都合上 scale をその 3 乗根に比例する様にしてある) とその観測點の震央から見た方位角との關係を第 1 圖 C に示す。

8. 同じ震央を用いているにも拘らず、越川氏の求めた、 $T_0' = 7$  h 13 m 29.1 s,  $T_0 = 7$  h 13 m 26.7 s とは 1 sec 以上の差が生じた。その最大の原因は、數字が擧げられて居らないので明かではないが、同氏論文の附圖に現われたところから考えるに、金澤の觀測を採用するか否かにあるらしく思われる。震央距離を殆んど等しくする金澤、敦賀の 2 點に於ける觀測結果は觀測誤差の範圍内で非常によく一致し、筆者としては之等 2 點の何れに就いても他に比べて無視せねばならぬ理由を發見し得なかつた。然も走時曲線の解析上最も重要な距離にある點ゆゑ、之等を同等に採用して計算を試みた。

然し、結局、どのような計算方法をとろうとも、走時曲線だけでは震源の深さと地殻構造とを同時に定めることが出来ないことは走時曲線の理論に明かである。その上、 $\Delta = 56.2$  km ~ 96.9 km の間には 1 つの観測點もなく、數少くない観測點に更に觀測誤差、地域偏差を考えねばならぬとすれば、任意常數は増すばかりで、解は殆んど無數にあると云つてよい。上記筆者の解は或は最も妥當でない部類に入るかも知れないが、それでも、成るべく多くの觀測結果を用い、又少くとも計算には自己撞着がない様に努めて、得られた結果の 1 つではある。従つて若し他の方面から確められる、例えば各層の厚さ等が著しく異なるとすれば、興味あることで、又改めて計算の吟味、震源を“1 點に還元される震源”とした假定が妥當であるかどうかの吟味等を行つて見度いと思う。

#### 文 献

- 1) 日本學術會議福井地震調査研究特別委員會
  1. 昭和 23 年福井地震調査研究速報
  2. The Fukui earthq. of June 28, 1948.
- 2) 中央氣象臺： 驗震時報 14 (別冊) 福井地震調査概報。
- 3) H. Kawasumi: Seismology in Japan: Bull. Seism. Soc. Amer. 39 (1949) No. 3.
- 4) H. O. Wood: A chronologic conspectus of seismologic stations: Bull. Seism. Soc. Amer. 32 (1942) No. 2.
- 5) 防災研究所 (京都大學): 研究報告 2. (1949).



# 建築物の設計震度に就て

建設省建築研究所 竹 山 謙 三 郎

(昭和 26 年 6 月 5 日受理)

## Seismic Factors for Structural Design of Buildings in Japan.

K. TAKEYAMA

Architectural Research Institute, Ministry of Construction

(Received June 5, 1951)

Seismic factors for structural design of buildings relating to geological ground condition were recently prescribed by Building Code in Japan. The map in the text shows the reduction coefficient to be multiplied to the basic seismic factor, 0.2 in every prefecture in Japan. The table indicated the reduction coefficient for each kind of structure (Wooden bldg. Steel bldg. Reinforced-concrete bldg. and Masonry bldg. from the left to the right column) and of geological ground condition (from the 1 st. to the 4 th).

### 前 書 き

建築物の耐震設計をするのに震度 0.1 に相當する靜的水平力を建物の各階床面に加える方法は關東震災の後大正 14 年に市街地建築物法施行規則として採用され、その後最近迄専らこの方法が踏襲されて來た。所が戦後建築物の構造計算法が根本的に變更され、その主旨として荷重又は外力は通常豫想される最大限、材料等の許容應力度は降伏點或は之に相當する値を採ることとなつた。この結果として許容應力度は在來慣用して居た値の略 2 倍を採ることとなつたが、建築物設計用の水平震度の「通常起り得る最大限」に就ては適確な値が定め得られないままに一應在來慣用の 0.1 という値を許容應力度と同じ比率で 2 倍して 0.2 という値に定められた。之のことは戦後公布された建築基準法施行令に定められて居るが、結局建築物は震度 0.2 に相當する靜的水平力が加つたときほぼぎりぎりの耐力を持つて居れば良いという主旨は現在迄略 30 年間建築界でそのまま踏襲されて來たものと見る事が出来る。




以上の様な次第で現在迄建築物は全國一樣に、鐵筋コンクリート・木造等の構造種別の如何を問はず 0.2 という震度を對象として設計されて來た。所が一方我國の九州や北海道では地震の危險度が本州の中央部とは比較にならない程少いことも多年の經驗からも感ぜられる。又累次の震災で、同じ地方でも地盤の種類によつて建物の被害に大差があることも明になつて來て居るため、建築物の設計震度をあらゆる場合一樣に採ることは今日としては餘りにも大雑把過ぎると考えられ、震度を減らせるものならば少しでもこれを減らして建物の經濟化

を圖り、必要ならば震度を増し、要するに設計震度を今少し合理化し度いという要望も特に戦後に於て強く起つて來た。先に觸れた建築基準法施行令でもこの様なことを考慮して、震度を増減し得ることが抽象的に書いてあるが、扱この増減の數値を具體的に定めるとなるとここで幾多の問題が起つて來る。建築學會では昨 25 年の暮以來、東大地震研究所、京大防災研究所、大阪市大其他理學方面の研究者の方々と建築方面の研究者で委員會を構成して研究を重ねた結果、ようやく成案を得建設大臣の告示として發表される運びとなつた。私はその委員會の世話役をした關係上、その内容とこの結論迄に至つた各種の考え方を紹介して御参考に供し度いと思う。

蓋しこの設計震度の問題は建築構造の經濟上重大な關係があるに拘らず、一つには丁度理學と工學の境界にあるため今日迄放置されて來たのであるが、今回の機會に理學方面の研究者の方から進んでこの境界域に踏み込んでいただいたため、その空白の相當部分を塞ぎ得たことは誠に感謝に堪えない。耐震構造部門ではこの他多數の空白境界が残されて居るので、これを機會に理學方面の方の工學部門への一層の御協力をお願いし度く、「地震」編輯委員のお需めにより敢て筆を執つた次第である。

### 地域と震度の比率

先にも記した様に地震の危險度が我國の各地方で違ひそうだということでは常識的には誰しも考えて居るところであるが、扱これを具體的に表現するという段になると、學術的問題だけでなしに多分に行政的の考慮が加るため、この問題に就ては最も多くの議論が闘わされた。先ずその結論を右に圖示する。

地 域	比 率
甲 	1.0
乙 	0.9
丙 	0.8



地域と震度の比率

圖は地震の危険度を震度の比率という形で表現したもので、例えば甲地區神奈川縣で  $a$  という設計震度を採るならば、丙地區九州（の同一地盤にある同一建物）では  $0.8a$  という設計震度を採ることとなつて居る。

この方法の根本となつたものは東大地震研究所から提出された河角廣博士の研究結果<sup>り</sup>で、原案としては同研究で 100 年間に 200 gal 以上の地震が 1 回起る確率のある地域と 100 gal 以上 1 回の地域を抑え全國を三つの地域に分け、設計震度の値に差をつける ことにより地震危険度の違いを具體的に表すという案であつた。

この原案に對して種々の議論が提出されたが、先ず第一に「過去に於て破壊的地震のあつた地方は前記の整理方法では例え危険度が低く出ても設計震度としては大きな値を採らなければならない」という説であつて、例えば福井以西の日本海岸沿の地帯はまさにこの例となる。更に「所謂地震帶に屬する地域に對しても震度は大きく考えるべきで、例えば新潟秋田等の内側地震帶に屬する地域、或は又瀬戸内海地震帶の通る別府から島原にかけての線等は別の扱をしなければならない」というのである。これに對して、「我國の日本海側は有名な多雪地方で冬期積雪も永いから、屋上に積雪があるとき地震が起ることも考えて計算しなければならない。そうすると計算の結果は相當大きな斷面の骨組としなければならないから、經濟的に到底成り立たない場合も多い。又内側地震帶の特性として被害は局所的だから、最悪の場合極く一部に被害を出しても百年目と考え、この地方の設計震度は原案のままの多少低い値でも差支えない」とする考え方もある。

又全然別の考え方として、「建築物の設計震度は都市の重要性に依つて變えるべきである。例えば北九州の諸都市はたとえ過去の記錄に基く地震危険度は低くとも設計震度は高目の値を採り、逆に民度の低い山奥の様な部分は設計震度を低くしても良い。」という議論もある。尤も之に對しては「建築基準法で要求して居る建物の耐力は建物に對する最低限の要求であるから、今は最低の線だけを議論すれば良い。若し重要な建物或は重要な都市ならば、個々の場合に設計震度の値を設計者なり都市なりで適當に上昇すれば良い」と考えられたのである。

尙以上の他重要な議論としては「原案では構造物の種別を問はず、100 年を對象として考えて居るが、鐵筋コンクリートと木造では建物の耐久命數が異なるから、若し前者で 100 年を對象とするならば、後者では遙に少く、例えば、50 年、30 年を對象として良いであらう。」この様に考えると耐久命數の低い木造等の場合には、地震危険度の多い地區の範圍はぐつと狭ばまつて來ることとなる。この議論は誠に合理的で震度分布の考え方の根本をなすものと思われるが、この場合はやや藝の細か過ぎる嫌がある。



扱以上の議論を総合し、危険地区の境界を行政区劃に合せる等の整理を行つて出来上つたものが前掲の震度分布圖である。この圖の震度比率は從來の一般常識或は河角博士の研究結果などから受取られる地震危険度より遙に地域による震度差が少いように感ぜられるが、これも前述の諸議論によつて、未だ一足飛びに設計震度到大差をつける迄には踏みきりがつけられなかつた結果と見てても良い。

### 地盤と震度の比率

震害が地盤の種類と大きな関係があり、又その関係も建物の種類・剛性に依て非常に違ふことは累次の震災調査結果から報告されて居ることは周知の通りである。これ等の資料に基いて検討の結果最後の形として下表の様な震度比率が得られた。

地盤と構造別設計震度の比率表

地 盤 の 種 類	構 造 の 種 別			
	木 造	鐵骨造	鐵筋コンクリート造又は鐵骨鐵筋コンクリート造	其他の構造
第1種地盤	0.6	0.6	0.8	1.0
第2種地盤	0.8	0.8	0.9	1.0
第3種地盤	1.0			
第4種地盤	1.2~1.5	1.0	1.0	1.0

上表の震度比率を定める場合に先ず問題となつたのは、地震に對して構造物をどの程度耐えさせるか、換言すればどの程度迄の被害を對象として設計すべきかということであつた。何故ならば、例えば同じ鐵筋コンクリート造でも毛狀龜裂も入らせないか、或は相當の龜裂迄許すかによつて地盤に對する危険度の關係が餘程違つて來ることが豫想されたからである。この點に就ては我國經濟力の實情とも睨み合せ一應下の様な目標を定めた。即ち先ず木造に就ては壁體の龜裂、仕口の緩み等は勿論差支えなく柱の中傾斜位迄許す。即ち修理して再使用出来る程度をねらう。鐵筋コンクリート造に就ては壁體の龜裂は差支えなく柱梁等に微少龜裂が起る程度を目標とする。これは壁又は床板は後から比較的容易に補修出来るからである。レンガ造や在來の石造の様な所謂組積造では、壁に微少龜裂が入ることが直ちに構造體全體の大龜裂崩壊を來すことが多いから、壁に微少龜裂の入る程度を目標と考えることとなつた。

次に地盤の類別としては便宜上地質から見て第1種から第4種迄に分けることとなつた

が、これは東京が關東震災の結果震害と地質の關係がほぼ明確につかめて居るので自らこれが根據となつたためである。即ち大雑把に言えば東京山の手が第2種、下町の大部分が第3種、本所深川の東部一帯、大正以後の海岸埋立地の大部が第4種というようにほぼ頭に畫かれて居るが、この地質類別は必ずしもそのまま全国的に適用出来ないし細部にも可成り曖昧な點が多く残つて居り、今後の方針としては地方廳が地質調査や彈性波測定或は過去の震害記録に基いて調査を行つて、ほぼ本表の方針にならつて地盤の類別を定めることとなつて居る。この調査に關しては今後共地質關係、地震關係研究者の方々の絶大な御々援御協力を得なければならない。

以上の前提で構造別に地盤と地震危険度を考える場合に、次に問題となつたのは「同一構造でもその剛性に大きな差があるから木造、鐵筋コンクリート造といった様な大雑把な分類ではいけないのではないか」ということである。例えば同じ木造でも土藏の震害は通常の民家のそれとは大いに相異なることは周知の通りであるし、最近のように合理的計算の行われる學校其他の木造は在來の震害統計の對象となつて居る民家とは之亦剛性に大きな相異があるから、同じ木造として扱うのは當を得ないという意見である。然しこれに就ては今回定めようとする規定の精度から見て、表に示した程度の構造種別で剛性の傾向を大別するに止めた。

次に前表の數値について構造別に簡単な説明を加えると、木造では過去の震害と地盤の關係が可成り明確にされて居るので、或る程度詳細な突込んだ震度比率が掲げてある。鐵骨造というのは建築で良く見られる細い鐵骨のトラス構造に石綿板、亜鉛メッキ鐵板等の輕量な材料を張つたものである。鐵骨造は一般に風壓力で斷面が定るから、地震に就ては特に考える必要はないが往々床だけを鐵筋コンクリート版とした振動的には不利なものがあるので、このような鐵骨造を對象として木造と似た震度比率を掲げた。鐵筋コンクリート造は先に述べた程度の被害を對象とするならば矢張り地盤の硬い方が有利であろうという調査結果からの推論に基いて震度比率を定めた。其他の構造に屬する組積構造は過去の震害によると硬い地盤程不利の様であるが、一方基礎構造の不備なものは軟弱地盤に於て不同沈下等の原因で致命的な損傷をうける例も多いので兩方の傾向を考え併せ震度比率は地盤に拘らず一様とした。尙戦後流行して居る鐵筋で補強した組積造（所謂補強コンクリートブロック造）は單純な組積造に較べて餘程有利と思われるが、未だ震災の經驗がないので一應在來の組積造と同様に扱つた。

最後に本表全體の震度比率を通觀した場合に構造種別相互の震度比率にアンバランスが見られないでもない。例えば材料の強度等の觀點から見れば鐵骨造より木造の方がはるかに震度比率を大きく採るべきかも知れない。然しこの場合の考え方は鐵骨造でも木造でも同様な

耐震力を持たせるという意味ではなくて、重要度の多い鉄骨造に木造よりも大きい耐震力を持たせ度いという気持ちも働いて居るのである。尙硬い地盤に對する震度比率は全般的にもつと低くとも良いという意見もあつたが、此の場合は一先ず表示した程度の内輪の数値が採用してある。

### 後 書 き

以上地域と地盤による震度の比率に就て紹介したが、之から建物設計用震度を定めるには在來使つていた基準震度 0.2 という値に地域と地盤による震度比率を乗じて求める。例えば東京山手に建つ鉄筋コンクリート造では

$$0.2 \times 1.0 \times 0.9 = 0.18$$

(前圖)(前表)

となる。

唯ここで大きな問題はこの基準設計震度 0.2 という値がはたして妥當かどうかということである。設計震度 0.2 とは例えば東京下町の大部分に建つ建物はすべてこの値で設計することとなるが、この値の根據は在來の慣用値が 0.2 であつたことと、最近の震災經驗によつてこの震度で忠實に設計された建物は例えば福井地震程度のもので一應耐え得られるであろうという推定に基くだけである。基準震度 0.2 が設計震度決定の根本をなすに拘らず、これ以上の根據は全くないのである。この點に就ては今後幾多の重大な研究問題が残されて居るのであるが、特に破壊地震記象の正確な資料に就いて或は又建築基礎地盤との關連に於ける建物の振動特性に就いて地震方面研究者の方々の御協力をお願いしなければならない。建築方面に於ける耐震理論の研究が從來建築物そのものの振動に對しては輝しい業績を擧げて居るが、地盤との關連性に於ける研究或は地震動の實情に基く研究が立ち遅れて居たことは否むことが出来ない。又最近建設省建築研究所で相ついで行つて居る實大建物についての振動破壊實驗の結果、震度 0.2 の靜的水平力に依る慣用の耐震設計法に就て根本的の批判資料が得られつつあることは、今後の耐震設計法に關し新しい研究分野の開けたことを感じさせるものである。

### 文

### 獻

- 1) 河角廣：我國に於ける地震危險度分布、建築雜誌 昭和 26 年 4 月



# “一樣回轉を得る装置”の改良に就いて

東京大學理學部地球物理學教室 田 治 米 鏡 二

(昭和 26 年 3 月 30 日受理)

## Improvements of the Equipment for Acquiring the Uniform Rotation by Self-Maintained Vibration.

K. TAJIME

Geophysical Institute, Faculty of Science, Tokyo University.

(Received Mar. 30, 1951)

The apparatus which was used in this experiment was what was previously described by C. TSUBOI. It consists of a bifilar pendulum and a synchronous motor driven electrically by the pendulum. It was attempted to improve the accuracy obtainable by this apparatus. The present study consists of two parts, the one concerning the bifilar-pendulum, and the other concerning the synchronous motor. The fluctuation in the period of the pendulum in relation to the phase of the exciting electric current was investigated. It was found that the fluctuation was  $10^{-6}$  sec when the motor is excited at the most preferable phase. As the period of the pendulum was  $10^{-1}$  sec, the relative accuracy was  $10^{-5}$ .

I	期電動機
§ 1. 序 言	§ 6. 回轉子の定常運動
§ 2. 二本吊り振子に就いての實驗	§ 7. 安定性に就いて
§ 3. 二本吊り振子の理論的考察	§ 8. 回轉子の減衰係數に就いて
§ 4. 二本吊り振子に就いての結論	§ 9. 最適回轉速度
II	§ 10. 使用中の經驗及結論
§ 5. 直流斷續電流に依つて驅動する同	

### I

§ 1. 地震計用精密ドラムに就いては既に坪井教授<sup>1)</sup>の報告があるが、發振器となる二本吊り振子及び驅動用モーターの性能に就いて精しい事は述べられていないので、精密ドラムの改良を命ぜられた機會に、二本吊り振子及びモーターの性能を精しく考察した。此の結果から地震計用ドラムとしては、舊型に改良を加うべき點は殆んど見出せなかつた。然も最近では1秒毎の時報が出だしたし、交流サイクルの安定性の増大と共に、電氣時計用モーターが再び取り上げられる様になつたので、一般には特殊の精密ドラムは必要でなくなつた。

然し特別に精密一樣回轉を要求される場合には少々の勞力を加えれば、吾々の回轉装置は依然として威力を發揮するであらう。又交流電源のない地點、或は震災地の如き停電の頻繁な地點では、確に有力な装置である。この意味で、吾々の装置に関心を持つ方々に総合的な

報告をする次第である。

## § 2. 二本吊り振子に就いての實驗

大體の事柄は前述の坪井教授<sup>1)</sup>の報告にあるから、それを参照されたい。今回實驗したのは、その報告中にある裝置を用いて、振子をエキサイトする場所を變える事に依り、振子の週期及び振巾に如何なる變化を生じるかを調べたのである。振子の週期を調べる方法は、此の振子に依つて、モーターを驅動し、ドラムを大體 10 分に 1 回轉させ、これにクロノメーターのタイムマークを 1 分に 1 度入れたのである。豫め振子の週期を調節しておく、ドラムが 1 回轉した場合に、刻時は大體 10 分前の刻時の附近に來る。ドラムの外周は 60 cm に設計してあつて、振子の周期は大體 0.1 sec になる様に調節してあるのであるが、眞に 0.1 sec ならば 1 回轉後の刻時は 10 分前の刻時の眞横に來る様に齒車が組合せてあるのである。その 2 つの刻時が眞横に來なくて 1 mm だけずれたとすると、振子の週期は正しく 0.1 sec. ではなくて  $1.7 \times 10^{-4}$  sec. だけはずれていることになるのである。故にドラム上の刻時のずれを読む事に依つて、振子の週期の微小な差異を知る事が出来る。但し、この場合の刻時のずれには、振子の周期の變化以外にも、種々な原因が入つて來る筈であるが、ドラムの形狀に就いては 1 回轉毎の大體同じ位置を見ているし、齒車の刻みについても、或る程度の惡影響を除いて、刻時のずれを読む事が出来る。

次に振子をエキサイトする場所を變えるには Fig. 1 の如き方法を用いた。

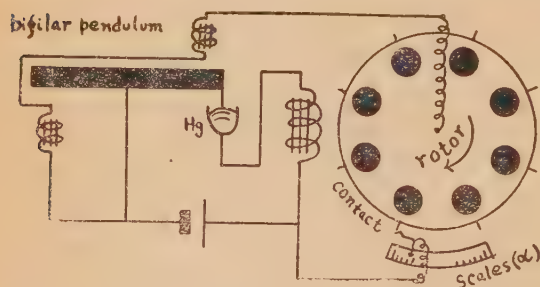


Fig. 1 The electrical circuit between the bifilar pendulum and the rotor.

この場合に振子の針先が水銀接點を閉じるのは、振子の最大振巾の位置を中心としている。然るに振子をエキサイトするには、振巾が零の時にエキサイトすれば、振子の週期を最も安定させ、又エキサイトされた振巾を最も大きくする、と云われてる<sup>2)</sup>。故に水銀接點を閉じてから  $\pi/2$  だけ位相を遅ら

せて、振子をエキサイトするのが望ましいのである。坪井教授の報告<sup>1)</sup>では振子の他端に、もう 1 つの水銀接點を設けて、振子自身をエキサイトしていたので、上述の位相の遅れは  $\pi$  となり、此の點が望ましくないと、其の報告にも書かれてあるのである。然るに今回は振子をエキサイトする電氣接點を廻轉子に付けたので、遅れの位相は任意の角度に選べるのである。ところが廻轉子の鐵片自身がモーターの電磁石から  $\delta$  だけ遅れて廻轉しているから、振子を零變位でエキサイトするには、廻轉子の接點を磁極から  $\left(\frac{\pi}{2} + \delta\right)$  だけ遅れた位置に定

めなければならない。然るに  $\delta$  を豫め正確に知る事は困難であるから、廻轉子接點の遅れの角度  $\alpha$  を、いきなり最適の値に定める事は出来ない。然るに振子の周期  $T$  と  $\alpha$ 、或は振幅  $A$  と  $\alpha$ 、には夫々関係があり、 $A$  が最大の時の  $\alpha$  が、今の場合正しく  $\alpha = \frac{\pi}{2} + \delta$  の條件を満足して、振子を零變位でエキサイトしている筈である<sup>2)</sup>。そして此の時に  $\Delta T$  が最も小さい筈である<sup>2)</sup>。

此の事を實驗してみる爲に、廻轉子を驅動させ、勝手な  $\alpha$  で振子をエキサイトして、廻轉子に定常回轉を得た後に  $\alpha$  を序々に變えて、 $(T-\alpha)$ 、 $(\Delta T-\alpha)$ 、 $(A-\alpha)$  の關係を求めた。Fig. 2 に此等の關係を示しておく、但し  $T$  はドラム上の 1 回轉毎に横に並んだ數個の刻時から出した  $T$  の平均値で、 $\Delta T$  はその確率誤差である。Fig. 2 を見ると、 $A$  の極大

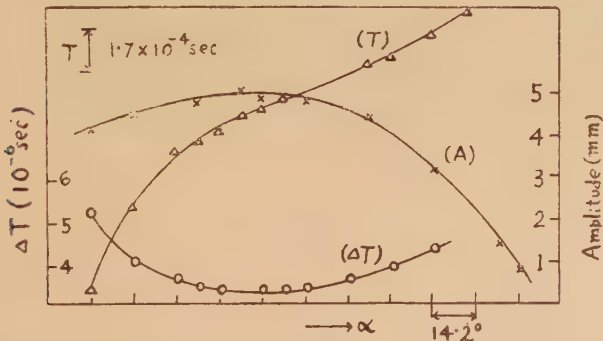
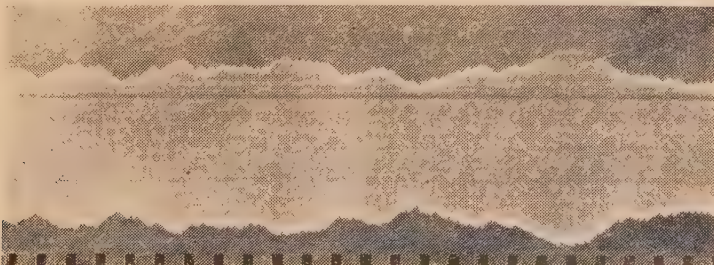


Fig. 2 These curves show experimental results. (A) means an amplitude of the bifilar pendulum, (T) a period and  $(\Delta T)$  a probable error of T.  $\alpha$  is a position of the electric contact.

の關係を寫眞に撮つたのが Fig. 3 で、(a) は水銀接點を振子の他端にも設けて、自己エキサイトした場合。(b) は廻轉子接點を用いて  $\alpha_m$  でエキサイトした場合。(c) はエキサイトを止めて、振子に減衰振動をやらせたのである。(b) と (c) とを見較べると、零變位でエキサイトした場合には、振子の自己振動を殆んど亂していない様である。

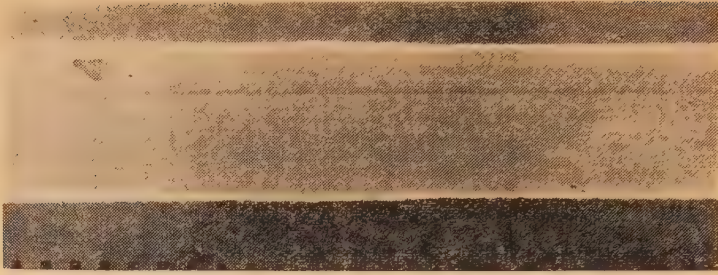
故にこの場合の周期は殆んど自己振動周期に一致しているのであろう。(a) では極大變位でエキサイトしていて、自己振動は激しく擾亂されている。従つて周期も擾亂を受けているであろうと想像される。

(a)

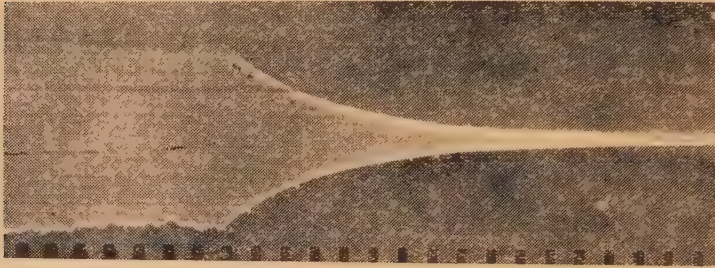




(b)



(c)



Fluctuations in amplitudes of the bifilar-pendulum are examined, exciting it at the maximum amplitude (a), and the zero displacement (b) respectively. (c) shows the free oscillation of the bifilar pendulum.

Fig. 3.

### § 3. 二本吊り振子の理論的考察

Fig. 4 の如き二本吊り振子の運動方程式は

$$\ddot{x} + 2\epsilon\dot{x} + n^2x = f(t) \quad (3.1)$$

この式で  $2\epsilon$  は減衰係数で、

$$n^2 = \{Mg(1 \mp \theta)d^2\}/Il$$

但し  $I$  は振子の慣性能率,  $g$  は重力の加速度

此の振子が断続電流に依つてエキサイトされる場合には、一

周期間の外力は

$$f(t) = \begin{cases} 0 & (t \leq 0) \\ F & (0 \leq t \leq \tau) \\ 0 & (t \geq \tau) \end{cases} \quad (3.2)$$

であるとして、(3.1) を解くと、次の様になる。

$$x = e^{-\epsilon t} \left( x_0 \cos \gamma t + \frac{x_0 \epsilon + \dot{x}_0}{\gamma} \sin \gamma t \right) + \frac{F}{n^2} \left\{ 1 - e^{-\epsilon t} \left( \cos \gamma t + \frac{\epsilon}{\gamma} \sin \gamma t \right) \right\}, \quad 0 \leq t \leq \tau \quad (3.3)$$

$$x = e^{-\epsilon t} \left( x_0 \cos \gamma t + \frac{x_0 \epsilon + \dot{x}_0}{\gamma} \sin \gamma t \right) - \frac{F e^{-\epsilon t}}{n^2} \left[ \cos \gamma t + \frac{\epsilon}{\gamma} \sin \gamma t - e^{\epsilon \tau} \left\{ \cos \gamma(t - \tau) + \frac{\epsilon}{\gamma} \sin \gamma(t - \tau) \right\} \right], \quad T \geq t \geq \tau \quad (3.4)$$

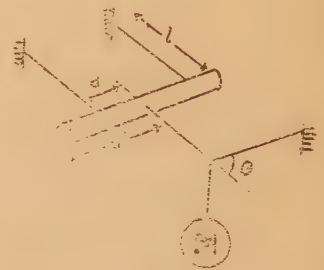


Fig. 4

The bifilar pendulum  
suspended horizontally

ここで  $T=2\pi/\gamma$ ,  $\gamma=\sqrt{n^2-\epsilon^2}$ , 又  $x_0$  及び  $\dot{x}_0$  は夫々  $t=0$  に於ける變位及び速度である。以後吾々は (3.4) 式のみを考察することにし、次の如き置き換えをすれば

$$a=\sqrt{x_0^2+(x_0\epsilon+\dot{x}_0)^2/\gamma^2}, \quad (3.5)$$

$$\tan \alpha = x_0\gamma/(x_0\epsilon+\dot{x}_0), \text{ 又は } \sin \alpha = x_0/a. \quad (3.6)$$

(3.4) 式は次の如くなる。

$$x=e^{-\epsilon t}\left[a\sin(\gamma t+\alpha)+\frac{F}{n\gamma}\{-\cos\gamma t+e^{\epsilon\tau}\cos(\gamma t-\gamma\tau)\}\right],$$

但し、實驗に於いて  $h\approx 0.0007$ ,  $n\approx 60$  なる値を得たので  $\tan^{-1}(\gamma/\epsilon)\approx \pi/2$  とした。ここに  $h=\epsilon/n$  とする。

ここで更に次の置き換えをすれば

$$b=(F/n\gamma)(e^{2\epsilon\tau}-2e^{\epsilon\tau}\cos\gamma\tau+1)^{1/2}, \quad (3.7)$$

$$\tan \beta = (e^{\epsilon\tau}\cos\gamma\tau-1)/e^{\epsilon\tau}\sin\gamma\tau \quad (3.8)$$

上式は結局次の如くなる。

$$\begin{aligned} x &= e^{-\epsilon\tau}\{a\sin(\gamma t+\alpha)+b\sin(\gamma t+\beta)\} \\ &= e^{-\epsilon\tau}A\sin(\gamma t+\varphi), \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\text{この式で} \quad A^2=a^2+b^2+2ab\cos(\alpha-\beta), \quad (3.10)$$

$$\tan\varphi = \frac{a\sin\alpha+b\sin\beta}{a\cos\alpha+b\cos\beta}. \quad (3.11)$$

さて實驗に依れば  $\epsilon\tau < 10^{-4}$  であるから 1 に對して之を省略すれば (3.7)は

$$b=(F/n\gamma)\cdot 2\sin(\gamma\tau/2).$$

又更に  $\gamma\tau < 1$  なる時は  $(\gamma\tau)^2$  を 1. に對して省略できるから、

$$b=F\tau/n. \quad (3.12)$$

一方 (3.8) 式も次の様に簡単になる

$$\tan \beta = -\tan(\gamma\tau/2), \text{ 即ち } \beta = \gamma\tau/2. \quad (3.13)$$

ここで  $\gamma\tau$  は廻轉子の電氣接點が閉じている間の角度を意味しているし、(3.6) 式の  $\alpha$  はエキサイトが始まり出した時の位相を意味している事に留意されたい。

さて、エキサイトした場合の振子の振動周期  $T'$  を次式で定義すれば、

$$x_0=e^{-\epsilon T'}A\sin(\gamma T'+\varphi), \quad (3.14)$$

(3.6) 式と (3.14) 式とから、次式を得る

$$a\sin\alpha=e^{-\epsilon T'}A\sin(\gamma T'+\varphi).$$

故に定常状態では

$$a=e^{-\epsilon T'}A, \quad (3.15)$$

$$\alpha+\pi=\gamma T'+\varphi. \quad (3.16)$$

(3.15) 式及び (3.16) 式が振子をエキサイトした場合の定常状態に於ける振子の振巾及び周期を與える式である。

然るに (3.16) 式と (3.11) 式とから,  $\varphi$  を消去すると,

$$\sin \gamma T' + (b/a) \sin \{\gamma T' - (\alpha - \beta)\} = 0. \quad (3.17)$$

又  $\varepsilon T' \ll 1$  なることに留意して (3.10) 式と (3.15) 式とから  $A$  を消去すると,  $b/a$  に關する二次方程式となり, 結局次の關係を得る。

$$\frac{b}{a} = -\cos(\alpha - \beta) + \sqrt{\cos^2(\alpha - \beta) + 2\varepsilon T'} = \begin{cases} \sqrt{2\varepsilon T'}, & \alpha - \beta = \pi/2 \\ \varepsilon T' / \cos(\alpha - \beta), & 2\varepsilon T' / \cos^2(\alpha - \beta) < 1 \end{cases} \quad (3.18)$$

$$(3.19)$$

然るに  $|2\pi - \gamma T'| \ll 1$  であるから, (3.17) は,

$$(2\pi - \gamma T') \{1 + (b/a) \cos(\alpha - \beta)\} + (b/a) \sin(\alpha - \beta) = 0,$$

となるのであるが, 吾々は主として零變位の近傍に興味があるので,  $b/a$  の値として (3.19) を取れば,  $\varepsilon T' \ll 1$  の近似を用いて, 結局次式に到達する。

$$T' = \frac{2\pi}{\gamma - \varepsilon \tan(\alpha - \beta)} = \frac{2\pi}{\gamma - \varepsilon \tan \alpha'} \quad (3.20)$$

この式の中で

$$\alpha' = \alpha - \beta = \alpha + \gamma \tau / 2 \quad (3.21)$$

は, 接觸時間  $\tau$  が有限の場合の, 零變位からの遅れの角度である。故にこの  $\alpha'$  は § 2 で用いた  $\alpha$  と同じ意味のものであるが, 量的には  $\pi/2$  だけ遅れている。

次に (3.20) を (3.19) に代入すれば, 振巾が得られる。

$$a = (F\tau/\pi\varepsilon) \cos \{\alpha' + \tan^{-1}(\varepsilon/\gamma)\}. \quad (3.22)$$

故に (3.20) 及び (3.22) から更に次の諸量を計算することが出来る。

$$\frac{dT'}{d\alpha'} = - \frac{T'h}{\cos \alpha' \cos \left( \alpha' + \tan^{-1} \frac{\varepsilon}{\gamma} \right)} \quad (3.23)$$

$$\frac{d^2 T'}{d\alpha'^2} = \frac{T'^2 \varepsilon \sec^2 \alpha'}{\pi} \cdot \frac{\varepsilon + \gamma \tan \alpha'}{\gamma - \varepsilon \tan \alpha'} \quad (3.24)$$

故に  $\alpha' = -\tan^{-1}(\varepsilon/\gamma)$  なる時に, 振巾は極大となり,  $(d^2 T'/d\alpha'^2) = 0$ , 即ち  $\Delta T$  は極小となる。然るに  $\varepsilon/\gamma$  は  $10^{-8}$  よりも小であるから,  $\alpha' \approx 0$  と考えても差支えない。この時は  $T' = 2\pi/\gamma = T$  となる。

又

$$\left( \frac{dT'}{d\alpha'} \right)_{\alpha'=0} = \begin{cases} \text{obs. } 9 \times 10^{-5} \\ \text{cal. } 7 \times 10^{-5} \end{cases}$$

となる。斯くの如く此等の事は何れも實驗結果 Fig. 2 と一致している。更に (3.22) 式と (3.23) 式とから, 一定の  $\alpha'$  に就ては  $\Delta T \propto \Delta a$  であることが分るから, § 2 で想像してい



た寫眞(a), (b) の相異が理解出來た。最後に外力及び振子の定數に變化があつた場合の  $T'$  の精度を表す式を作れば

$$\frac{\Delta T'}{T'} = -\frac{\Delta n}{n} + \hbar \left\{ \left( \frac{\Delta \alpha}{\alpha} - \frac{\Delta(F\tau)}{F\tau} \right) + \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \right\} \quad (3.25)$$

此の式で  $(\Delta \alpha/\alpha - \Delta(F\tau)/F\tau)$  は位相  $\alpha'$  を仲介として、互に消し合う向きに作用するから、外力の變化の大きさが直接  $\Delta T'$  に影響することはない。 $\hbar$  を  $10^{-3}$  より小にすることは易しいから、此の項は簡単に  $10^{-5}$  以下になるであらう。然るに  $n$  は (3.1) 式に出て來たもので、

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta \theta}{2(1 \mp \theta)} + \frac{\Delta d}{d} - \frac{\Delta d'}{d'} - \frac{\Delta l}{2l},$$

となり、溫度の影響を考えれば、此の項は  $10^{-5}$  以下にする事は困難である。一方實驗結果も  $(\Delta T/T)_{\min.}$  は大體  $10^{-5}$  である。

以上の考察に於ては、振子の振巾が小さいと假定して立てた (3.1) 式から出發しているの、 $T'$  の表現に直接には振巾  $\alpha$  が入つて來なかつた。 $\Delta T/T$  を  $10^{-5}$  とするには振巾の角度を  $1^\circ$  位にして始めて今の假定が許されるのである。

§ 4. 此の裝置を地震計用のドラムに用いる場合には、時間の精度はこれ程良くなくても充分間に合う。故に零變位でエキサイトしなくとも、舊型の儘で差し支えない。此の場合でも  $\Delta T/T$  は  $10^{-3}$  以下である。

此の裝置で重力の加速度を mgal 迄決めるには、溫度變化及び振子の臺の傾斜に一層の注意を要する。

## II

### § 5. 直流斷續電流で驅動する同期電動機

此の種のモーターに就いては既に岸上教授<sup>3)</sup>の報告があるが、量的な事柄には觸れていないので、量的な關係を考察することにした。

先ず交流理論に従えば、同期電動機の入力及び出力は夫々次の式で表わされる事が分つてゐる。

$$P_1 = VI \cos \phi, \quad P_2 = (VE'/x) \sin \delta \quad (5.1)$$

但し、 $V, I, \phi$  は入力、電流及び力率である。又  $x$  はモーターのコイルのリアクタンスで  $E'$  は逆起電力、又  $\delta$  は  $V$  と  $E'$  との位相差である。 $\delta$  は又磁極と廻轉子の極との位相差と見る事も出来る。同期電動機では、此の  $\delta$  が重要な役割を演じるのであるが、 $E'$  を理論的に導き出すのは困難である。殊に吾々の用ゐ様とするモーター (Fig. 5) は電氣の書物にも出ていないので、ここでは廻轉子の運動方程式から出發して、位相差  $\delta$  を求める事にした。その爲には廻轉子の鐵片が磁極に引かれる場合のモーメントを知らねばならぬ

のであるが、之を計算する事は磁束の形狀に就いての知識を要し、極めて困難である。そこで手許にある物に就いて實驗を行つた。

先づ電磁石に直流 100 mA を流しておき、廻轉子鐵片の位置を磁極から徐々に遠ざけて行き、その時の電氣的變位角  $\theta$  とモーメント  $f$  とを測定した。此の結果は Fig. 5 に示す通りである。

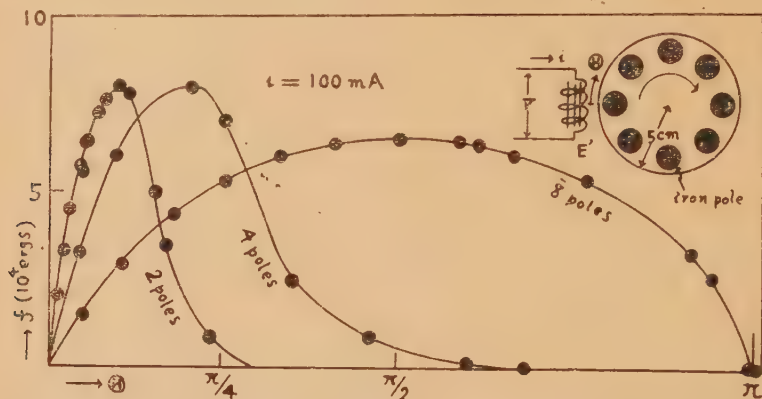


Fig. 5 Relations between the moment and the electric angles are statically measured. On each case poles are symmetrically settled.

鐵片の數を 8 から、1 つ置きに減らして 4 及び 2 にして同様の實驗をやつたのである。此の程度の磁石の強さでは、磁束の及ぶ範圍は狭いらしく、Fig. 5 の曲線は鐵片の數を減らした場合にも、大體左右對稱な山になつた。

次に鐵片 8 の場合に就いて、電流の強さを變えた場合の最大モーメント  $F$  を測定した。但し、此の實驗には Fig. 5 の場合とは別の電磁石を用いた。此の結果は Fig. 6 の (1) に示す通りである。コイルの卷數を半減すると (2) の如くなつた。

さて Fig. 5 を見ると、これ等の曲線は大體次式で表せる事が分る。

$$f = FQ \sin \frac{8}{p} \theta,$$

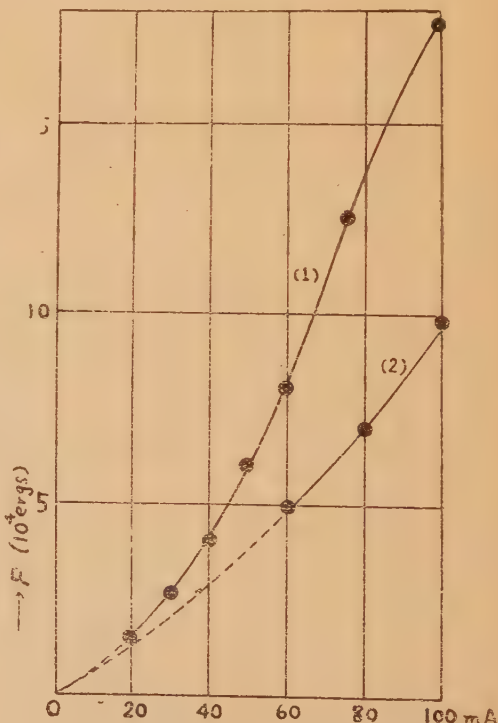


Fig. 6 When the direct electric current were measured. On the case turns (1), of the coil were twice as many as those (2).

$$Q = \begin{cases} 1 & 0 \leq \frac{8}{p} \theta \leq \pi \\ 0 & \pi \leq \frac{8}{p} \theta \leq \frac{8}{p} \cdot 2\pi - \pi \\ -1 & \frac{8}{p} \cdot 2\pi - \pi \leq \frac{8}{p} \theta \leq 2\pi \end{cases} \quad (p=2, 4, 8)$$

然るにモーターの安定性を得るは山に到る迄の電氣的角度が大きい方が有利であるから、  
 今後は鐵片 8 の場合のみを考察することにすれば、上の實驗式は

$$f = F \sin \theta \quad (5.2)$$

となる。

§ 6. (5.2) 式を用いれば廻轉子の運動方程式は次の様に書ける

$$\left. \begin{aligned} I\ddot{\varphi} + K - F \sin \theta &= 0, & 0 \leq t \leq \tau \\ I\ddot{\varphi} + K &= 0, & \tau \leq t \leq T \end{aligned} \right\} \quad (6.1)$$

但し  $I$ : 同轉子の慣性能率  $\tau$ : 電流が流れてゐる間の時間  
 $K$ : 固體摩擦及び負荷  $T$ : 斷續電流の周期  
 $\varphi$ : 同轉子の同轉角度

又計算が困難になる爲に減衰項は省略した。 $\varphi$  は電氣的角度で書けば  $\Phi = p\varphi$  となる。更に  $t=0$  の  $\theta$  を  $\theta_0$  とすれば、これ等の間には次の關係がある。

$$\theta_0 = \theta + \varphi \quad (6.2)$$

(6.2) 式を用いれば (6.1) は  $\theta$  に関する方程式にすることが出来る。

$$\left. \begin{aligned} \frac{I}{p} \frac{d^2 \theta}{dt^2} - K + F \sin \theta &= 0, & 0 \leq t \leq \tau \\ \frac{I}{p} \frac{d^2 \theta}{dt^2} - K &= 0, & \tau \leq t \leq T \end{aligned} \right\} \quad (6.3)$$

上式を解いて  $\omega = d\varphi/dt$  と書けば

$$\omega^2 = \omega_0^2 + \frac{F}{2I} \sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) \sin\left(\theta_0 - \frac{\Phi}{2}\right) - \frac{2K\Phi}{pI}, \quad 0 \leq t \leq \tau \quad (6.5)$$

$$\omega = \omega_T + (K/I)(T-t), \quad \tau \leq t \leq T \quad (6.6)$$

然るに  $t=\tau$  に於て兩式は結びつかねばならぬから、結局次式を得る。

$$\omega^2 T - \omega_0^2 = \frac{F}{2I} \sin \frac{\Phi_T}{2} \left\{ \sin\left(\theta_0 - \frac{\Phi_T}{2}\right) - \frac{4K\Phi_T}{pF \sin \frac{\Phi_T}{2}} \right\} \quad (6.7)$$

然るに同轉が定常ならば  $\omega_T = \omega_0$ ,  $\Phi_T = 2\pi$  であるから

$$\sin\left(\theta_0 - \frac{\Phi_T}{2}\right) = \frac{\pi K}{F \sin \frac{\Phi_T}{2}} \quad (\because P=8)$$

でなければならぬ。



然るに  $\delta = \Theta_0 - \Phi_\tau/2$  は磁極と鐵片との位相差を表しているから、 $\Phi_\tau \approx (2\pi/T)\tau$  と近似すれば上式は

$$\sin \delta = \pi K/F \sin(\pi\tau/T) \quad (6.8)$$

となり、之が定常状態における位相差を決める式である。故に出力は (5.1) 式に習つて、

$$P_2 = F\omega \sin \delta \quad (6.9)$$

と書く事が出来る。

§ 7. 次に回轉の安定性を論じる爲に、定常状態が亂れて、 $\delta$  に  $\Delta\delta$  だけの變化が起つたとすれば

$$P_s = \Delta P_2 / \Delta\delta = F\omega \cos \delta$$

の力が廻轉子の非定常運動に對して作用する。之が同期化力と云われるもので、此の非定常運動の方程式は次の如くなる。

$$\frac{d^2(\Delta\delta)}{dt^2} + n^2 \cdot \Delta\delta = 0 \quad (7.1)$$

ここで

$$n^2 = (PF/I) \cos \delta$$

然るに  $\cos \delta < 0$  になると、 $\Delta\delta$  は益々大きくなり、遂に同期位相を大きくはなれて、廻轉子は止つてしまう、故に  $\delta < \pi/2$  でなければならぬが、實際の經驗上普通の同期電動機では  $\delta < 50^\circ$  でないと不安定であると云われている<sup>4)</sup>。 $n^2 > 0$  の場合は hunting をやるのであるが、實際には (7.1) 式に減衰項が加わるので、此の hunting は次第に治つて、元の定常状態になるのである。

さて、 $\delta$  の望ましい値、及び  $\Delta\delta$  の許し得る大きさを見る爲に (7.1) 式を解くと

$$\Delta\delta = \sqrt{(\Delta\delta)_0^2 + \frac{(\Delta\dot{\delta})_0^2}{n^2}} \sin\left\{nt + \tan^{-1} \frac{n(\Delta\delta)_0}{(\Delta\dot{\delta})_0}\right\} \quad (7.2)$$

但し  $(\Delta\delta)_0$  及び  $(\Delta\dot{\delta})_0$  は夫々  $t=0$  に於ける hunting の角變位及び角速度である。

然るに (6.7) 式から

$$(\Delta\dot{\delta})_0 = \frac{F}{4I\bar{\omega}} \sin \frac{\Phi_\tau}{2} \left\{ \sin(\delta + \Delta\delta) - \frac{\pi K}{F \sin \frac{\Phi_\tau}{2}} \right\} = \frac{1}{4} \cdot \frac{n^2}{\omega_0} \sin \frac{\Phi_\tau}{2} \cdot \Delta\delta. \quad (7.3)$$

又 (6.8) 式から

$$(\Delta\delta)_0 = \tan \delta \left\{ \frac{\Delta K}{K} - \frac{\Delta F}{F} - \pi \cot \frac{\Phi_\tau}{2} \Delta \left( \frac{\tau}{T} \right) \right\} \quad (7.4)$$

$$\therefore (\Delta\delta)_m = \sqrt{(\Delta\delta)_0^2 + \frac{(\Delta\dot{\delta})_0^2}{n^2}} = \tan \delta \left\{ \frac{\Delta K}{K} - \frac{\Delta F}{F} - \pi \cot \frac{\Phi_\tau}{2} \Delta \left( \frac{\tau}{T} \right) \right\} \sqrt{1 + \left( \frac{n}{4\omega_0} \right)^2 \sin^2 \frac{\Phi_\tau}{2}} \quad (7.5)$$

然るに (6.1) 式に就いて考えるに

$$\Phi_0 + (\Delta\delta)_m < \pi, \quad \text{即ち} \quad \delta + (\Delta\delta)_m + (\Phi_\tau/2) < \pi \quad (7.6)$$

でなければならぬ、然るに (6.8) 式に依れば  $\Phi_\tau/2$  は餘り小さくする事は出来ない。寧ろ  $\sin(\Phi_\tau/2)=1$  に選んだ方が有利である。故に今後は次の如く定める。

$$\sin(\Phi_\tau/2)=1 \quad \text{即ち} \quad \tau=T/2 \quad (7.7)$$

斯くの如く決めると、(7.5) 式で  $\Delta(\tau/T)$  の項が消える利點もある。

更に (7.5) 式で  $(\Delta\delta)_m$  を小さくする爲には次の條件も望ましい。

$$\omega_0 > n/4 \quad (7.8)$$

(7.7) を (7.6) に代入すると、

$$\delta + (\Delta\delta)_m < \pi/2$$

故に

$$\delta + \tan \delta < \pi/2$$

ならば安全である。然るに實際上  $K/F$  は餘り小さく出来ないので、 $\delta < \pi/4$  としてみると、(6.8) 及び (7.8) から次の條件を得る。

$$2\sqrt{2}\omega_0^2 I > F > \sqrt{2}\pi K \quad (7.9)$$

之が廻轉子の減衰を考えない場合の安定條件である。

§ 8. 次に吾々の手許にあるモーターに就いて、空氣に依る減衰係數及びドラムを廻轉させた場合の負荷を實測した。定常狀態の  $t=0$  の時に電源を切ると、廻轉子は減衰を始めて遂に止るので、それ迄の時間を計つて、減衰係數及び負荷を算出したのである。負荷のないときは、靜止迄の時間は數%以内で決り、夫々の値は次の如くなつた。

$$D=2.5 \times 10, \quad K_0=2.8 \times 10^3 \quad (8.1)$$

負荷のあるときは靜止迄の時間は可なりばらつく。此の場合減衰係數には上に求めた  $D$  を用いると。

$$K=(1.4 \pm 0.6) \times 10^3 \quad (8.2)$$

但し  $I=7.5 \times 10^3$  で、土は標準偏差を示す。

斯くの如く、減衰がある場合の廻轉子の運動方程式は

$$I \frac{d\omega}{dt} + D\omega + K - F \sin \Theta = 0, \quad 0 \leq t \leq \tau$$

となる、然るに、(6.5) 式によれば  $\omega$  は  $\Phi = \sin^{-1} K/F$  に至る迄單調に増加し、然も  $\Theta = \delta$  に於ては未だ此の値に達していないので、此の時は  $d\omega/dt > 0$  である。故に

$$\omega < \frac{K}{D} \left( \frac{F \sin \delta}{K} - 1 \right) = \frac{K}{D} (\pi - 1) = 1.2 \times 10^2 \quad (8.3)$$

實際には空氣に依る減衰の他に電磁的の減衰がある筈であるが、廻轉子を靜止させた時と定常狀態で同轉させた時とで電磁石に流れる電流をオッシログラフで調べたところ、大した差異は認められなかつた。廻轉が非定常になると、此等の差異は著しい。始めに斷つた如

く、逆起電力  $E'$  の計算を避けたので、電磁的の減衰項を理論的に導き出せなかつたのであるが、實驗の結果出力よりも少くとも 1 桁は小さい。此の事からは大體 (8.3) の制限でよいと思われるが、 $\theta$  はもつと小さくても  $d\omega/dt > 0$  でなければならぬ事もありうるから (8.1) の制限はもつと厳しくなければならぬであろう。即ち

$$\omega \ll 1 \times 10^2 \quad (8.4)$$

と考えておくべきである。

§ 9. 今迄に求めた條件に實際の数値を入れてみると、先ず (7.9) と (8.2) とから

$$F > 1 \times 10^4, \quad \omega_0 > 1 \quad (9.1)$$

となる。吾々の装置で實驗した時の經驗に依れば、 $\bar{\omega} = 3$  で hunting が非常に目立つて來て、 $\bar{\omega} = 2$  では廻轉は極めて不安定となつた。又發振器に絃の振動を用いて、サイクル數を上げると、 $\omega > 20$  では、次第に定常回轉を開始させる事が困難になつた。然も二本吊り振子では、30 サイクル以上にすると、水銀接點の作動が不安定になつた。此の様な經驗から  $\omega = 10$ 、即ち振子では 13 サイクル位が最も適當であると思われる。

次に上に求めた數値で回轉させた場合の回轉の精度を求めてみよう。不整の原因は 2 つある、1 つは振子の 1 周期  $T$  の間に於ける  $\omega$  の變化で、他の 1 つは擾亂があつた場合に hunting の 1 周期  $T_h$  の間にをける ( $\Delta\delta$ ) である。

即ち 
$$\frac{\Delta T}{T} = \left| \frac{\Delta \omega}{p \bar{\omega}} \right| = \frac{\omega_m - \omega_0}{2 p \bar{\omega}}$$

然るに (6.5) 式から、 $\omega$  の極大を求める事が出來て、

$$\omega_m - \omega_0 \approx \frac{F}{p \bar{\omega} I} \left( 1 + \frac{\pi K}{2F} \right) < \frac{2.5}{p \bar{\omega}}$$

$$\therefore \frac{\Delta T}{T} < 2 \times 10^{-4} \quad (9.2)$$

又 
$$\frac{\Delta T_h}{T_h} = \left| \frac{(\Delta\delta)}{p \bar{\omega}} \right| \approx \frac{n}{p \bar{\omega}} (\Delta\delta)_0 < 3.5 \times 10^{-2} (\Delta\delta). \quad (9.3)$$

然るに  $T = 1/13 \text{ sec}$ . 又  $T_h = 2.3 \text{ sec}$ . であるから、若しも回轉時間に於て 0.1 sec. 迄を問題にする時には、(9.2) 及び (9.3) から分る通り、回轉の不整による時間のフラツキ  $\Delta t$  は、 $(\Delta\delta)_0$  が 1 になつても、尙  $\Delta t < 0.1 \text{ sec}$ . である。然るに (7.4) 及び實驗の結果  $(\Delta\delta)_0 < 1$  であるから、地震計のドラムを驅動させる場合の如く 0.1 sec. 迄が問題になる場合には、回轉の精度は充分要求を満している事が分つた。

§ 10. 最後に吾々の装置を使用している中に氣の付いた事を述べる。

一番困るのは、以上の如く、回轉子の安定條件を考慮して設計したにも拘らず、不慮の時に止る事である。此の原因は當然回轉子にはないのであつて、入力 of 電流形が悪いのであ



る。電流形を決める要素は2つある。1つは電気回路で、他の1つは發振装置である。出力を大きくする爲に coil を澤山巻いた場合に回路の設計が悪いと、電流が振動する。此の原因の1つは、發振器の水銀接點の火花消去回路に用いた蓄電器にある。然しながら、電流形に最も決定的な打撃を與えるのは、發振器の水銀接點そのものである。白金棒を水銀溜に突込むと、水銀は始めの中少し、白金棒との接觸を避ける。又抜く場合には逆に元の面から持ち上つて白金棒を追いかけて来る。然し一番困るのは水銀面が酸化する事である。眞空にすれば、此の缺點は除き得るが、空氣中で用いる場合は、勞を惜まず、新鮮な水銀を用いる他仕方がない。久山博士<sup>5)</sup>は水銀接點の形を變えて、酸化水銀を落す事を試みられた。然し酸化水銀の堆積が出來て、それが遂に落下する間に接觸状況の大變化があり、之が電流形を非常に不安定にするので水銀接點の問題は未だ片附いていない。吾々の經驗上 6V で 50 mA 以下を流した時、水銀面が良好にあるのは約1週間である。

吾々の回轉子は、自分で start しないので、一度止つたら、再び start させてやる迄は止つた儘である。然し苟も動いているときは、充分な精度を持つてゐるのである。此の點が電氣時計用 Warren-motor の如く、self-start する同期電動機と大いに異なる點で、後者にあつては、容易に止らないけれども、動いている場合にも入力電流と同期で回轉しているのか、slip しているのか一見しては分らぬのである。slip を避ける爲には位相差  $\delta$  を充分小さくする事、即ち回轉力と負荷との比を充分小さくする事が大切である。一般に用いられている Warren-motor とドラムとの組合せでは、此の點に不安がなくもない。吾々は別の實驗で Warren-motor の軸に鏡を付けて 1/100 sec の刻時を得んとした時、交流 50 サイクルに對し、1 割以上の slip を觀測したことがある。

吾々の裝置に關して、舊型に改良の餘地を見出したのは、ドラムの設計を改良して、負荷を小さくすること、及び電磁石を改良して、水銀接點を通る電流を少くて済ませる様に工夫する事との2點である。これ等の點に關して吾々は新作の裝置に於て、夫々の値を半分以下に改良する事が出來たが、最大の難點である水銀接點を依然として使つてゐるので、地震計用ドラムとしては飛躍的の改良は爲し得なかつた。但し、本研究に於いて、一樣回轉を得る裝置の性能は明らかに示す事が出来る様になつた。なお二本吊り振子に於いてなした實驗的及び理論的考察は、一般に振子の振動保持の際に零變位でエキサイトすれば、週期及び振巾の變動が最も少いことを證明したものである。

以上の研究は坪井教授の指導の下で行つた。又久山博士の助言を得た。

#### 参 考 文 獻

- 1) 坪井忠二 “地震” 12 (1940) 303.
- 2) Rayleigh Theory of Sound Vol. 1 § 81
- 3) 岸上冬彦 “地震” 2 (1930) 487
- 4) 山下英男 電氣機械 (岩波物理學講座) 144 頁
- 5) 久山多美男 “科學” 18 (1948) 415.

## 紹 介

# ソヴィエトにおける地震學を中心とする 固い地球物理の最近の研究

地震研究所 宮 村 攝 三

戦前においてもソ同盟との學問的交流はきわめてすくなかつたが、戦後も内外の情勢にさまたげられ、豫期に反してまったく事情は好轉していない。ガリツィン、ペー・ペー以來の傳統をもつソ同盟の地震學界が、國力の充實とともに、どのような動きを示しているであろうかということは、われわれのひとしく知りたくおもうことであつた。英米の抄録誌や雑誌類の引用文獻等に散見する論文の題目などで、いくらかの活動をうかがうことはできたが、もちろん、すこぶるものたりないものであつた。

最近ソ同盟科學學士院報告地理地球物理輯報\*の 1950 年 No. 4, No. 6 1951 年 No. 1 をみる事ができたので、それからうかがひえたソ同盟の地震學および固い地球物理關係の研究狀況を、簡単に紹介しておきたい。

同輯報は水圈氣圈の地球物理もふくむが、地理のものはすくない。年 6 冊、隔月刊で、毎號 100 頁内外あり、紙質は上等ではないが、從來の「地震」よりははるかによく、印刷も鮮明で、寫眞はアート紙をもちいている。かつてのソ同盟のきたないものとは格段の差がある。全部ロシア文であり、外國語の要約はついていない。

1950 年 (第 14 卷) の内容から、固い地球物理關係のものをぬきだすと、つぎのとおりである。

アンツィフエロフ, エム・エス.: ばねづりの二次共振 (No. 4)

ベールゾン, イー・エス, エピナーチエワ, アー・エム: 地震波の遮蔽 (No. 6)

ボグダーノフ, アー・アー; グレーヴッチ, ペー・エル; シェレシエフスカヤ, エス・ヤー: ウクライナ西部の重力異常と大地質構造との關係

ヴァーロフ, エス・エス: 地下構築物のまわり

の温度分布 (No. 6)

グラボウスキー, エム・アー: 天然および人工磁鐵礦の磁歪 (No. 6)

ドスカッチ, アー・ゲー; ケーシ, アー・エス: ソボレフ著「歐露における浸蝕の發達とその對策」について

エピナーチエワ, アー・エム: 地震觀測で記録された若干の廻折波について

イワーノフ, アー・ゲー: 地震-電氣(セイスモ・エレクトリチエスキエ)現象研究の方法 (No. 6)

イワーノフ, ヴエ・カー: 平面上にあたえられた重力ポテンシヤル導函數により生ずる調和モーメントの決定について

カラーシュニコフ, アー・ゲー: ロマノーソフの「航路のより大なる正確さの判定」における地磁氣の問題

コルモゴロフ, アー・エヌ: 土壤の熱傳導率決定の問題

コンドールスキー, エー・イー: 粉體および粒體の磁性理論 (No. 4)

クロボートキン, ペー・エヌ: シュミットの宇宙論と地球の構造.

リャブーノフ, アー・アー; ファンディューシナ, エス・エム: 地震の反覆性の問題 (No. 6)

モナーホフ, エフ・イー: 地震のよこ波のかたよりの諸問題 (No. 6)

ムーヒナ, ゲー・ヴー: 二媒質の接する上における導體の遮蔽效果 (No. 4)

パセーチュニク, イー・ペー: 探査用地震計檢定のための振動臺 (No. 6)

セミョーノフ, ヴェー・ゲー: 熱・壓性(テルモ・バリチエスキエ)地震の理論からの若干の實際的結論

チーホノフ, アー・エヌ; ムーヒナ, ゲー・  
ヴェー: 成層媒質中の變化する電界の決定

チーホノフ, アー・エヌ; スクーチャレウスカ  
ヤ, オー・アー: 不均一成層媒質中の電流 II  
(No. 4)

チーホノフ, アー・エヌ: 不均一成層媒質中の  
電流 I.

同上: 拋物線型方程式の第三境界値問題

チェルトコフ, エー・イー: 造構造斷層モデ  
ルの若干の結果.

つぎに, 同輯報 1951 年 (第 15 卷) No. 1 に  
あるもので, 固い地球物理の分は,

ベロウソフ, ヴェー・ヴェー: 地球内部構造  
とその進化の問題 (第 1 部)

ザーイツェフ, エリ・ペー; ズヨリンスキー,  
エヌ・ヴェー: 二つの弾性體の境界面に發生する  
尖頭波(廻折波のこと)の研究.

ボンダーレンコ, アー・ペー: 地震流の原因に  
關する若干の資料.

クラスノゴールスカヤ, エヌ・ヴェー: 磁界を  
指示するクベッキーの「モザイク」増幅器利用  
の條件.

である. なお巻末に 1950 年中の他誌に發表され  
た論文のごく簡単な抄録があるので, それを, こ  
れも題目だけあげておく. これは次號につづくこ  
とになっている. なお No. 4, No. 6 (1950) と  
No. 1 (1951) は閱讀または複寫を御希望ならば  
あらかじめ御連絡のうえ小生研究室において下さ  
い. 用意しておきます.

1950 年に發表された地球物理の論文 I 地震學.

## I) 地震觀測の解釋

ペールゾン, イー・エス: 廻折地震波傳播の運  
動學的諸問題, ソ同盟科學學士院地球物理研究所  
彙報\*\* No. 9 (136), 67—83 頁 1950.

ケイリスボーロック, ヴェー・イー: 地震觀測  
による震源の動力學的特性, ソ同盟科學學士院紀  
要\*\*\* LXX No. 6, 995 頁, 1950.

同上: 震源の動力學的媒介變數決定について  
の問題, ソ同盟科學學士院地球物理研究所彙報,  
No. 9 (136), 3—19 頁, 1950.

マサールスキー, エス・イー: アシュハバード  
地震餘震の震央分布, ソ同盟科學學士院紀要

LXXIV, No. 3, 1950.

モナーホフ, エス・イー: 近地深發地震の觀測  
の解釋, ソ同盟科學學士院地球物理研究所彙報  
No. 9 (136), 43—57 頁, 1950

同上: よこ波の變位方向の決定, 同上, No. 9  
(137), 58—66 頁, 1950.

ローゾワ, エー・アー: 中央アジアの地震の震  
源, 震央の分布, 同上 No. 10 (137), 1—134 頁  
1950.

## 2) 地震波の傳播 (理論と實驗)

イワーキン, ペー・エヌ: 連續媒體の一次およ  
び二次元網狀模型中の彈性波, ソ同盟科學學士院  
地球物理研究所彙報 No. 9 (136) 84—121 頁,  
1950.

ケイリスボーロック, ヴェー・イー: 地震の等  
價震源の問題, 同上 No. 9 (136), 24—42 頁,  
1950.

グースコフ, アー・エム: 彈性定常振動の廻  
折, ソ同盟科學學士院紀要, LXX, No. 2, 1950.

ベトラーシエニ, ゲー・イー: 等方球の場合の  
彈性理論の動力學的問題, ジュダーノフ名稱レニ  
ングラード大學學術報告第 17 號 (1949 年)

## 3) 地震計器

オストロフスキー, アー・エー: 地震觀測所の  
ための定電壓裝置, ソ同盟科學學士院地球物理研  
究所彙報 No. 9 (136), 127—131 頁, 1950.

同上: 強震警報器, 同上 No. 9 (136), 132—  
133, 1950.

同上: 高速記錄 (40 m/sec 迄) シュレイフォ  
フ・オッシログラフ, 同上 No. 9 (136), 134—  
138 頁, 1950.

## 4) 地震地質學, 耐震構造

カツツ, アー・ゼー; プーチュコフ, エス・ヴェ  
ー: 爆發による建築物の振動の問題, ソ同盟科  
學學士院地球物理研究所彙報 No. 9 (136), 122  
—195 頁, 1950.

コルチェンスキー, イー・エリ: 振動する基礎  
によりおこされる石造建築物の振動, 「建設工業」.  
No. 6, 1950.

## II 地球成因論

シュミット, オー・ユー: 惑星とその衛星の發  
生, ソ同盟科學學士院報告, 物理學輯報 XIV.



No. 1 29—45 頁 1950; ソ同盟科學學士院地球物理研究所彙報 No. 11 (138) 1—20 頁, 1950.

同上: 地球の起源論についての四つの講義, 第2版, ソ同盟科學學士院出版 1950.

フェーセンコフ, ヴェー・ゲー: 地球と惑星との進化の問題 72 頁, カザクスタン科學學士院出版, アルマ・アタ, 1950.

[つづく]

以上論文の題目をあげただけであるが, とにかくいろいろの研究が相當活潑におこなわれていることはうかがわれるので, 今後とも入手しうる論文について検討してゆく必要があると思われる,

現在占領下でも, 連合国の各國と, 一應のわくの中ではあつても, 次第にこのような交流の機會をもてerようになったことは, きわめてよろこば

しいと思う。今後とも學問の交流は政治に左右されることなくあらゆる國々との間に強化するよう努力したいものとする次第である。(1951. 5. 1)

\* Izvestija Akademii Nauk SSSR, Serija Geofizičeskaja i Geografičeskaja.

\*\* Trudy Geofizičeskogo Instituta A. N. SSSR (なお 1950 年に以前の地震研究所 (Seismologičeskii Institut) が地球物理研究所に統合されたので, 従来の地震研究所彙報が本誌にひきつがれたわけである。)

\*\*\* Doklady Akademii Nauk SSSR (かつては Comptes Rendus de Acad. Sci. URSS として主として佛文のものがロシア文と併行してだされていたが, 現在はこのロシア文のものだけになった。)

## 訂正: 地球中間層の不連

### 續性について

[地震 3 卷, 2 號, 17~21 頁 (1951)]

京都大學地球物理 西武照雄

上記論文中の過誤を訂正します。

18 頁, 18 行

$$\mu = \frac{1}{v} \frac{d^2 W}{d\theta^2} = \frac{1}{v} \sum \left( \frac{dr}{d\theta} \right)^2 \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{d^2 r}{d\theta^2} \frac{dw}{dr} \quad (3)$$

$$26 \text{ 行 } \mu = \sum b \frac{1}{r_0} \frac{d^2 w}{dr^2} + b' \frac{1}{r_0^2} \frac{dw}{dr}$$

$$19 \text{ 頁, } 10 \text{ 行 } \mu = b \frac{1}{r_0} \frac{d^2 w}{dr^2}$$

11 行  $k/\mu$ : 常數

12 行  $k/\mu$  は常數となる。

14 行  $\mu = B r_0^{-n-3}$

15 行  $k/\mu$ : 常數:

$$19 \text{ 行 } \mu = b \left( \frac{1}{r_0} \right)^2 \frac{1}{r_0} e^{\frac{r_0}{\rho_0}} - b' \left( \frac{1}{r_0} \right)^2 \frac{1}{\rho_0} e^{\frac{r_0}{\rho_0}}$$

20 行 取消

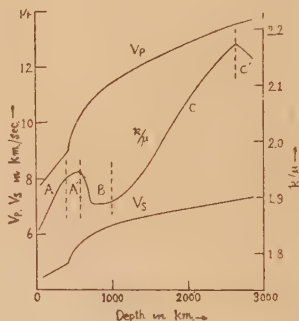
$$22 \text{ 行 } k/\mu \approx \frac{a}{b} \left\{ 1 + \left( \frac{b'}{b} - \frac{a'}{a} \right) \frac{\rho_0}{r_0} \right\}$$

$$24 \text{ 行 } k/\mu \propto (1 + c\rho^{\frac{1}{2}}) \quad c > 0$$

20 頁, 2 行  $k/\mu$ : 常數

3 行 取消

尙 20 頁の Fig. I は  $k/\mu$  の數値を圖示する際にスケールの取誤りのため次の圖のごとく訂正する。従つて § 4 は次の如く書き更める。



§ 4.  $k/\mu$  は常數又は  $(1 + c\rho^{\frac{1}{2}})$  に比例して増加するがこの際には後者の方が確かと思われる。Fig I は之に反し減少點を有しているが之は物質の成分の急激な變化若しくは多形轉移が起つてゐると思われる。

従つて地球中間層を次の部分に分けることが出来る。

(單位料)	33~ 400	A
	400~ 600	A'
	600~ 800	B
	800~2600	C
	2600~2800	C'

A 及び C は夫々の範圍に於いて大體一樣な部分と考えられ, B は急激な變化のある部分である。A/C' は夫々異つた層の間の轉移層と思われる。従来の 20° 不連續性は本質的部分が 600 料より始つてゐるようになってゐる點注目に値しよう。

## 地震時報

**阿蘇山** 中岳第1火口は4月30日ごろから活気を呈し、5月4日には山ろくに降灰があり、5月28日には少量の赤熱噴石が、6月2,3日には人身大の噴石があつた。

**三原山** 2月4日に再活動し、噴石活動と熔岩の湧出が行われた。3月には内輪山から北西火口原にあふれた熔岩流は徐々に火口原をおおい、3月半ばにはその先端は外輪山内壁に達し、さらに熔岩は外輪山内壁に沿つて北東に流れ、3月下旬まで續いた。3月24日から数日間内輪底北西部に赤熱の熔岩湖が出現し、3月27,31日には内輪山北側から北東京津の方向にさらに熔岩が流出した。4月上旬に活動は一旦衰えた。4月16日6時30分ごろふたたび活潑な噴火をはじめ、内輪底2箇所にも赤熱の熔岩湖が出現し、19日には内輪山から熔岩が流出したが、同日夕刻には衰えた。その後、4月27日夕刻から噴火をはじめたが、5月1日には衰えた。5月6日0時40分ごろまた噴火をはじめたが、翌7日朝にはおだやかになつた。

**淺間山** 3月5日11時38分ごろ微噴火し、噴煙は700m餘りに上昇した。

**昭和26年5月6日の中央アメリカ・サルパドル大地震** サルパドル東部のChimaneca町(人

口17000名)およびJucuapa町(人口12000名)は6日23時03分ごろ(G.M.T.)と23時08分ごろ(G.M.T.)に起つた大地震のために町の80%が破壊しJucuapa町だけでも死者が1000名にものぼつた。この地震のために電信は不通となり、Usulutánの東方の町Berlin, Santa Elena, El Triunfoでも被害をうけた。これら災害地の住民達は不安におのゝいているが、サルパドルの赤十字總裁は被害地一帯にトラック、病院車、ジープを調達し救済にあたつている。

なおこの地震の震央は北緯13.5度、西経88度で餘震がつゞいている。

**昭和26年2月15日の温泉岳附近の地震** 15日16時11分ごろ温泉岳附近に小區域地震が起り、九州の大部分で人體に感じた。この地震は規模は小さかつたが起つた場所が火山地帯なので注目をひき地元では相當さわがれた。

震央は北緯32.8度、東経130.2度で深さは0~10kmの極く淺い地震で、温泉岳の震度は中震であつた。

この地震は餘震が多數あつたが月末までに有感39回、無感375回で3月には有感11回、無感29回とだんだんすくなくなつた。

## 學會記事

### 日本地震史資料を中心とした地震火山に関する展示會及び講演會の開催

本年5月15日より6月3日にわたり地震研究所、中央氣象臺及び震災豫防協會の後援のもとに地震學會及び國立科學博物館共催で上記の會が科學博物館で開催された。

本會は日本地震資料の出版完成を記念するもので武者金吉氏の多年にわたる集收品が多數出品された。その外地震計、火山觀測器械も陳列され殊に震研表研究室出品になるペン書地震計は一般觀

覽者の注目をひいた。

尙5月27日と6月3日の兩日は講演及び映畫會が開催された。

5月27日

○日本古來の大地震特に東京近傍の大地震に就いて

武者金吉氏

○三原火山の現状

村内必典氏

6月3日

○地震學の日本的發展

河角廣氏

○地震豫知への道

和達清夫氏

○火山噴火活動の豫知 水 上 武氏  
 尙兩日とも講演會終了後下記の如き映畫が上映された。

○關東大震災記録映畫 (震研所藏)

○怒る三原山

○ハワイ火山 (天然色) (村内必典記)

#### 第7回學術講演會

1951年5月23日, 24日, 25日の3日にわたり, 中央氣象臺内において第7回地震學會學術講演會が行われ, 下記の研究發表がなされた。また24日午後は, はじめてのこゝろみとして, シンポジウムを計畫し, 今夏のブリュッセルでの國際會議の議題中, 脈動の成因および名稱と地震波位相の名稱とをとりあげ討論を行つた。脈動については岸上多彦氏 (震研), 池上良平氏 (震研), 廣野卓藏氏 (氣象臺) の報告を中心とし, 地震波位相については河角廣氏 (震研) の報告を中心として, 活潑な自由討論をおこなつた。詳細は別稿を参照されたい。

#### 地震學會講演會

時 5月23, 24, 25日

所 中央氣象臺

第1日 (23日)

1. 高 木 聖君 (中央氣象臺研修所)  
 斷層面から出る波動 (20分)
2. 本 間 正 作君 (地震觀測所)  
 彈性波動論の初期値問題 (20分)
3. 本 間 正 作君 (地震觀測所)  
 不均質中間層にそう境界波 (20分)
4. 西 武 照 雄君 (京大地物)  
 地球内部の溫度分布について (20分)
5. 島 津 康 男君 (東大地物)  
 地球内部の密度分布と重い物質の分布 (15分)
6. 佐 野 浚 一君 (名大物理)  
 伊勢灣周邊の水準變化について (20分)
6. 山 口 生 知君 (地理調査所)  
 最近の平均海水面の變化について (15分)
7. 萩 原 尊 禮君 (東大震研)  
 笠 原 慶 一君 (東大震研)  
 油壺で觀測された土地傾斜伸縮の經年變化について (15分)
8. 細山謙之輔君 (京大地物)  
 緯度變化の Chandler 周期について (20分)

9. 松 島 昭 吾君 (京大地物)  
 自記水管傾斜計 (15分)
  10. 小 澤 泉 夫君 (京大地物)  
 土地の歪みの永年及び年變化の觀測と氣溫及び降雨の年度化に及ぼす影響について (20分)
  11. 地質調査所物理探鑛部  
 ノースアメリカン型重力計による重力測定について (20分)
  12. 一 戸 時 雄君 (京大地物)  
 京都附近の重力測定 (20分)
  13. 小 川 健 三君 (地質調査所)  
 早 川 正 巳君 (地質調査所)  
 片 寄 邦 之君 (地質調査所)  
 飯 田 波 事君 (地質調査所)  
 三原火山の重力測定 (2) (20分)
  13. 熊 谷 直 一君 (京大)  
 重力異常の分布から地下密度不連續面の深さを求める近似法 (20分)
  14. 村 内 必 典君 (科學博物館)  
 三原火山第二期活動經過及び二, 三の觀測結果について (20分)
  - 14' 市 川 政 治君 (中央氣象臺)  
 村 井 五 郎君 (中央氣象臺)  
 オホーツク海深發地震の驗測結果 (15分)
  - 14'' 藤 本 文 彦君 (中央氣象臺)  
 核内のP波速度について (15分)
- 第2日 (24日)
15. 宮 本 貞 夫君 (地球物理研究所)  
 走時異常と録時關係の誤差との關係 (15分)
  16. 岸 本 兆 方君 (京大地物)  
 走時曲線の重ね合せについて (20分)
  17. 吉 山 良 一君 (九大物理)  
 大 原 資 生君 (九大物理)  
 雲仙地震の通信調査その他 (15分)
  18. 高 木 聖君 (中央氣象臺研修所)  
 南海道地震の餘震について (20分)
  20. 吉 川 宗 治君 (京大地物)  
 深發地震の發震區域による振動特性について (20分)
  21. 宮 本 貞 夫君 (地球物理研究所)  
 深發性地震帯に關する一考察 (15分)
  22. 坪 井 忠 二君 (東大地物)  
 日本とその近くに於ける地震活動について (20分)



23. 河 角 廣君 (東大震研)  
地震の大きさについて(續報) (15 分)
- 23' 井上宇胤君 (中央氣象臺)  
勝又護君 (中央氣象臺)  
地震の規模階級について (15 分)
- 23'' 井上宇胤君 (中央氣象臺)  
勝又護君 (中央氣象臺)  
最大動の振幅と震央距離との關係について  
(15 分)
- 自由討論  
Brüssel 會議の議題について  
①地震波の位相の名稱について  
②脈動の起きる原因について  
第3日 (25 日)
- 23''' 鷺坂清信君 (地震觀測所)  
地震計振子と増倍率用傾杆の連結について  
(15 分)
24. 金 野 仁君 (徳島大)  
地震觀測用自由振動音叉時計の試作 (15 分)
25. 鈴木次郎君 (東大地物)  
田 望君 (東大地物)  
Noise-level-meter の試作及び觀測結果  
(15 分)
26. 小林直太君 (東大地物)  
油を使つた減衰装置についての實驗 (10 分)
27. 吉山良一君 (九大物理)  
大原資生君 (九大物理)  
コンクリート丸棒の振動實驗 (15 分)
28. 坪井忠二君 (東大地物)  
友田好文君 (東大地物)  
尾崎幸男君 (東大地物)  
鈴木弘道君 (東大地物)  
Rotation を描く地震計とその記象 (10 分)
29. 坪井忠二君 (東大地物)  
友田好文君 (東大地物)  
Low-pass filter をもつ加速度計について  
(3 分)
30. 坪井忠二君 (東大地物)  
友田好文君 (東大地物)  
地震動だけを無駄なく記録する装置 (10 分)
31. 淺田 敏君 (東大地物)  
田 望君 (東大地物)  
高感度地震計用スターターについて (10 分)
32. 秋間哲夫君 (東大震研)  
振り振子低域濾波器による表面波の研究  
(20 分)
33. 金子徹一君 (地質調査所)  
田治米鏡二君 (東大地物)  
弾性波試験の一例 (20 分)

34. 宮村 攝三君 (東大震研)  
辻 浦 賢君 (東大震研)  
既設電話線利用搬送方式による地震觀測用刻  
時傳送及び保守電話 (10 分)
- 34' 久保寺 章君 (京大地物)  
地震波の減衰から求めた地殻の粘性 (15 分)
35. 岸上多彦君 (東大震研)  
池上良平君 (東大震研)  
吉岡久義君 (東大震研)  
簡便な地震記象讀取裝置 (5 分)
36. 高橋龍太郎君 (東大震研)  
平能金太郎君 (東大震研)  
下 鶴 大 輔君 (東大震研)  
津浪の模型實驗速報 (15 分)
- 36' 廣野卓藏君 (中央氣象臺)  
久本壯一君 (中央氣象臺)  
ステレオ投影地圖を用ひて津浪波面を作圖  
すること。(5 分)  
脈動の成因および地震波位相の名稱につ  
いての討論會

第7回地震學會研究發表講演會の第2日(1951  
年5月24日)14時より中央氣象臺内村紀念  
館にて、今夏ブリュッセルにておこなわれる U.  
G.G.I 總會での討論議題、特に脈動の成因および  
地震波位相の名稱についての討論會がおこなわれ  
た。河角委員長挨拶ののち、吉山良一氏(九州大  
學)座長におされ、議事にはいつた。出席者は約  
40 名であつた。

# 1. 脈動の成因

## 1.1 討論資料解説 岸上多彦氏(震研)

## 1.2 台風と脈動について 廣野卓藏氏(中央氣 象臺)

## 1.3 三點觀測法による脈動觀測結果 岸上多 彦、池上良平兩氏(震研)

## 1.4 自由討論

# 2. 地震波位相の名稱

## 2.1 討論資料解説 河角廣氏(震研)

## 2.2 自由討論

1 岸上氏の討論資料としての脈動の原因説およ  
び脈動の分類、記號等についての歴史的解説につ  
いて、廣野氏が最近のキティ台風(1949)から  
以後キジア台風(1950)まで5つの台風と1951年  
4月の低氣壓の場合について、脈動の振幅、週期  
の消長と低氣壓中心の位置、うねりの状況等とを

比較した研究を發表された。つぎに岸上、池上兩氏が、小石川植物園および三鷹天文臺構内で三點觀測法により、脈動の傳播方向、傳播速度をもとめ、低氣壓の位置と比較した結果を發表された。これらの結果は互に關連するところがあり、活潑な討論があつたが原因について決論をうることは勿論できなかった。そして、結局今後大規模な計畫による共同研究を行うべきであるということが確認された。(なお、次號には別にこの討論會にもとづく、脈動に關する綜合報告をのせたいと思つている)

2 地震波位相の名稱の現在各國各觀測報告等にもちいられている記號についての詳細な統計が河角氏より資料として呈出された。河角氏の説明により問題はつぎの諸點にあることがわかり、それぞれについて討論して一應の結論をだした。すなわち

### 1. 遠震實體波

1.1 PP, PPP, SS, pP, などと  $PR_1$ ,  $PR_2$ ,  $SR_1$ ,  $pPR_1$  などいづれの方式をとるか。これは前者の方をとる。

1.2 PKP,  $PKP_1$ ,  $PKP_2$  と  $P'$ ,  $P'_1$ ,  $P'_2$  といづれをとるか。これは正式には前者とし、略記號として後者をみとめる。

1.3 PKPPKP etc と  $P'/P'$  etc といづれをとるか。これは、あまりしばしば使用されるものでもないから、正式には前者とし略記號として後者をみとめる。

### 2. 表面波等

2.1 レーリー波ラウ波の記號については、波の種類が未定の表面波は  $L$ , レーリー波、ラウ波ときまつた場合は  $L_r$   $L_q$  とする。(これは中央氣象臺にて現行のものであるというのできまつたが、實は末廣氏より發言あつたごとく  $L_r$ ,  $L_q$  が現行であるのでこの會の結論としては決定できない)

2.2  $M$  は最大動の最大の山につける。

2.3  $G$ ,  $C$ ,  $T$  などはまだ非公認の位相とする。

### 3. 近震實體波

3.1  $\bar{P}$ ,  $\bar{S}$  と  $P_g$ ,  $S_g$  とでは、日本では前者をつかいなれているが、これからは後者を、タイプの便などから、用いるようにしよう。 $g$  は granitic の  $g$  と思わず、單なるアルファベットの字と考えればよい。

3.2  $R^*$ ,  $S^*$  もタイプできる  $P_g$  式のものにした方がよいという意見がでたが、結論はでなかつた。

地震計の常數は  $V$ ,  $\mathfrak{B}$ ,  $T_0$ ,  $\epsilon$ ,  $h$ ,  $v$  など現行どおり、その他若干の討論ののち、17 時ごろ閉會。

### 地震學會總會

5 月 25 日午前の講演終了後、會場にて今年の總會を行つた。委員長挨拶、會計報告、庶務報告あり、つぎに地球物理學關係學會連合結成促進についての決議を行い、日本學術會議地球物理學研究連絡委員會にその推進方を要請し、關係各學會宛(具體的宛先撰譯は委員會一任)に呼びかけることになつた。

# UNION GÉODÉSIQUE et GEOPHYSIQUE INTERNATIONALE ASSOCIATION DE SÉISMOLOGIE

Assemblée Générale de Bruxelles,

Août 1951

## Circulaire 2.

### Horaire provisoire des Séances de l'Association, de Séismologie

- 20 Août: Inscription des participants, distribution des documents (résumés, etc....)  
(Lundi)
- 14 h. 30 Comité exécutif de l'U. G. G. I.  
17 h. 00 Conseil de l'U. G. G. I.  
20 h. 00 Comité financier de l'U. G. G. I.
- 21 Août: 10 h. 30 Séance d'ouverture de l'Assemblée et Séance plénière au Palais des  
(Mardi) Beaux-Arts.  
12 h. 30 Lunch offert par le comité national Belge.  
14 h. 30 Association de Géodésie: Adresse présidentielle.  
16 h. 30 Adresse du Président Stoneley.  
17 h. 30 Réception à l'hôtel de ville de Bruxelles.
- 22 Août: 9 h. 30 Séance de travail: Rapport du secrétaire général; questions admi-  
(Mercredi) nistratives et financières, examen du règlement intérieur.  
14 h. 00 Séance de travail: Questions d'organisation scientifique (symboles, codes, fiches, dictionnaires, etc....)  
15 h. 15 Adresse présidentielle (Association de Volcanologie)  
16 h. 30 Reprise de la séance de travail.
- 23 Août: 10 h. 00 Séance commune avec l'Association d'Océanographie Physique: "Ex-  
(Jeudi) ploring the Ocean Floor"; exposés séismologiques par MM. Ewing, Hill, discussion.  
14 h. 00 Séance de travail; Organization de réunions éventuelles en 1952 et 1953: Collaboration entre Séismologues Européans.
- 24 Août: 9 h. 30 Séance de travail: Election du bureau et du comité exécutif de  
(Vendredi) l'Association; communications scientifiques.  
14 h. 30 Visite de la station séismologique d'Uccle et exposé par M. le professeur Charlier sur la sismicité de la Belgique.
- 25 Août: 8 h. 30 Excursion à Anvers et sur l'Escaut, retour dans la soirée.  
(Samedi)
- 26 Août: Sous la direction du professeur Charlier excursion de l'Association  
(Dimanche) de Séismologie dans la Vallée de la Haine; étude géologique et séismique du Hainaut et visite d'un charbonnage.
- 27 Août: 9 h. 00 Séance de travail: Communications scientifiques.  
(Lundi) 14 h. 30 Séance de travail: Communications scientifiques.
- 28 Août: 9 h. 00 Séance de travail: Rapports nationaux.  
(Mardi) 14 h. 00 Symposium organisé par le C. O. P. E. I.: mouvements de la croûte terrestre.
- 29 Août: 9 h. 00 Symposium organisé par le C. O. P. E. I.: La nature du noyau  
(Mercredi) terrestre.



- 14 h. 30 Séance commune avec les Associations de Météorologie et d'Océanographie: Le mouvement microséismique.
- 30 Août: 9 h. 00 Séance de travail: Communications scientifiques.  
(Jeudi) 14 h. 00 Visite de centre géophysique de Dourbes.
- 31 Août: 9 h. 00 Séance de travail: Communications scientifiques.  
(Vendredi) 14 h. 00 Séance de travail: Communications scientifiques.  
19 h. 30 Dîner offert par le Comité Belge.
- 1 Septembre:  
10 h. 30 Assemblée plénière de clôture.

L'Assemblée de l'U. G. G. I. sera précédée du 16 au 18 Août d'une réunion organisée par le C. O. P. E. I. (Joint Committee on Physics of the Earth's Interior).

Cette réunion, à laquelle les séismologues sont invités à assister, se tiendra avec le programme suivant:

- 16 Août: matin Réunion de discussion générale: Forme à donner au Comité (les membres du C. O. P. E. I. ont seuls droit de vote, mais tous ceux que la question intéresse sont invités à participer à la discussion).
- 16 Août: après-midi Symposium sur les problèmes thermiques (réchauffement et refroidissement de la terre, radioactivité, conductibilité thermique).
- 17 Août: matin et après-midi Symposium sur la constitution des continents et des fonds océaniques.
- 18 Août: matin Discussion sur le noyau terrestre: cette discussion sera poursuivie au cours du symposium du 29 Août (voir ci-dessus).  
Eventuellement un autre symposium se tiendra le Lundi 20 Août.

## LISTE DES COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

Les résumés de ces communications seront distribués  
aux participants à l'Assemblée.

### A. ONDES, PROPAGATION

- 1 M. Bath: Initial Motion of the First Longitudinal Earthquake recorded at Pasadena and Huancayo.
- 2 R. Stoneley: The Propagation of Elastic Waves in an Anisotropic Earth.
- 3 M. Ewing and F. Press: Propagation of Earth Waves along Oceanic Paths.
- 4 J. N. Nanda: Evaluation of Average Crustal Characteristics from Reverberation of Seismic Waves.
- 5 D. V. Anderson and T. D. Northwood: Model Seismology.
- 6 F. Gassmann: Elastic Waves running through Incoherent and through Damping Matter.
- 7 Y. Sato: Transformation of Wave Functions related to the Transformation of Coordinates Systems.
- 8 H. Takeuchi: Diffraction of Elastic Waves by an Elastic Sphere.
- 9 W. Hiller: Sur la détermination de la région épicertrale d'un séisme d'après l'inscription des ondes préliminaires (P ou PKP) et des ondes superficielles.
- 10 T. Hirono: On the Propagation of Tremors in a Semi-infinite Elastic Solid produced by Tractions acting on the Surface.

- 11 I. Lehmann: "P and S beyond 105°".
- 12 P. Caloi: Effetti dell'attrito interno sulla velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali a brevissimo periodo.
- 13 F. Gün-Bayer: Una ley fundamental de sismología.

#### B. APPAREILS

- 14 P. Byerly: The Theory of the Seismograph with Tilts.
- 15 F. Gassmann: Quelques contributions à la théorie des sismographes et des vibromètres.
- 16 W. Hiller: Un ensemble homogène de sismographes à courte période et à enregistrement galvanométrique, construction "Stuttgart".
- 17 A. Zatopek: Dynamical Magnification of a Pendulum excited by the Motion  $e^{-\lambda t} t^3$  and Some Other Kinds of Shock.
- 18 A. Zatopek: A Torsional Recording Device for 80 kg and 200 kg Wiechert Seismographs.
- 19 E. Vesanen: University of Washington Seismograph Station, Seattle, Washington.
- 20 P. Bremner: The Seismograph Station at Resolute Bah, N. W. T.

#### C. MAGNITUDE

- 21 M. Bath: Earthquake Magnitude Determination from the Vertical Component of Surface Waves.
- 22 E. Peterschmitt: Sur la variation de l'intensité macroséismique avec la distance hypocentrale.
- 23 A. Zatopek and J. Vank: Earthquake Magnitudes at Praha and their Relation to the Revised Values of Pasadena.
- 24 Ch. Charlier: Sur la détermination des profondeurs hypocentrales et des épicentres par les méthodes macroséismiques.
- 25 J. Martelly: Une méthode d'évaluation de la profondeur de l'hypocentre.
- 26 J. Martelly: Relation entre l'accélération et les degrés d'intensité macroséismique.

#### D. EXPLOSIONS

- 27 H. E. Tatel, M. A. Tuve and L. H. Adams: Seismic Exploration of the Earth's Crust.
- 28 P. G. Gane: Instrumentation for Rockburst Seismology.
- 29 J. H. Hodgson: Crustal Structure of the Canadian Shield.
- 30 Explosion Seismic Study Group: Explosion Seismic Observations in NE Japan.
- 31 J. M. Lopez de Azcona: Velocidad aparente de propagación de las ondas sísmicas longitudinales, II parte.

#### E. MICROSEISMES

- 32 M. Bath: The Distribution of Microseismic Energy with Special Reference to Scandinavia.
- 33 M. Bath: L'importance microséismique des fronts froids en Scandinavie.
- 34 D. Wadati, W. Inouye, T. Hirono: Sur la relation des typhons avec le mouvement microséismique.
- 35 P. Bernard: Microséismes à Saint Michel de Provence.
- 36 P. Caloi: Sull'origine dei microsismi che interessano l'alto Adriatico.
- 37 M. Giorgi: Sull'origine dei microsismi che interessano il Mediterraneo centrale.



## F. GEOGRAPHIE SÉISMOLOGIQUE et DIVERS

- 38 N. Shalem: La séismicité au Levant.
- 39 N. Pinar: Les régions sismiques de l'Anatolie occidentale (Bassins de la Mer de Marmara et de la Mer Egée).
- 40 E. Laha: Les zones séismogéniques de l'Anatolie orientale (Turquie).
- 41 H. Kawasumi: Measures of Earthquake Danger and Expectancy of Maximum Seismic Intensity throughout Japan as inferred from the Seismic Activity since Historical Times.
- 42 E. Vesanen and J. Jones: On Seismicity in the State of Washington.
- 43 Ch. Charlier: La séismicité de la Belgique.
- 44 E. Ramirez: El Gran Terremoto Ecuatoriano de Pelileo. Agosto 5-1949.
- 45 N. Pinar: Déclenchement des séismes par une brusque variation barométrique.
- 46 E. Wanner: Sur la statistique des séries de secousses.
- 47 N. Oulianoff: Elasticité et plasticité de la croûte terrestre.
- 48 A. Roussopoulos: Theory and Practice of Aseismic Constructions.

## G. ORGANIZATION

- 49 E. Vesanen: Some Suggestions for the Improvement of Seismological Bulletins.
- 50 Ch. Charlier: Propositions d'unification des symboles à utiliser dans les bulletins des mouvements microséismiques.
- 51 E. Guyot: Petite dictionnaire séismologique.

## H. RAPPORTS NATIONAUX

Conformément à la demande qui a été adressée le 10 Avril 1951 par le secrétaire de l'Association à MM. les Presidents des Comités Nationaux Géodésiques et Géophysiques nos Collègues délégués des Comités Nationaux de Séismologie sont priés de bien vouloir préparer leurs rapports sur l'activité séismologique de leurs pays respectifs pour la période 1948-1950.

Il est souhaitable qu'un exemplaire de chacun de ces rapports parvienne au secrétariat de l'Association, 38 Boulevard d'Anvers a Strasbourg avant le 15 Juillet 1951. Le secrétariat est actuellement en possession des rapports en provenance des pays suivants:

Afrique du Sud, Allemagne (République Fédérative de l'Ouest), Argentine (Service Météorologique), Australie, Autriche, Brésil, Canada, France, Grèce, Irlande, Norvege, Nouvelle Zélande, Pays-Bas, Suisse, Turquie, Yougoslavie.

Ces rapports seront présentés au cours des séances que l'Association tiendra à Bruxelles.

Le Président:  
Docteur R. Stoneley, F. R. S.

Le Secrétaire Général:  
Professeur J. P. Rothé.



## 「地震」投稿規定

1. 原稿は400字詰原稿用紙に横書に認め、假名は平假名、外国語は片假名又は原語を用いること。
2. 句讀點，．等を明瞭に記入すること。
3. 地名、人名の讀みにくいものには振假名を付けること。
4. 數字は漢字を用いず、アラビア數字を用いること。
5. 引用文献等は最後に本文中の引用箇所の番号を附して記載のこと。
6. 挿圖は墨で明瞭に書き、刷上り寸法又は縮率を必ず記入すること。圖の中の文字は刷上り1mm以下にならぬこと。原稿に赤字で圖の挿入場所を指定すること。
7. 原稿には必ず歐文題目と歐文要約（大體300語以内）を付けること。
8. 論文の長さは當分の間、刷上り6頁（400字詰原稿用紙約10枚）以内のこと。
9. 別刷は50部を贈呈し、それ以上は著者の負擔（用紙を含む）とする。
10. 校正は當分の間編輯係に一任のこと。
11. 特殊な圖版（折込、色刷等）は當分の間著者が費用を負擔すること。
12. 挿圖、表等の説明には歐文を用いること。
13. 數式、特に本文中の式はなるべく一行以上を占領せざる形（たとえば  $k/\mu$ ,  $\sin \{(s\pi x/l) - (s\pi ct/l)\}$  のごとく）にかくこと。
14. 寄書は刷上り1頁未滿（400字詰原稿用紙約2枚迄）とし、歐文題目をつけること。

昭和26年9月10日 印刷  
昭和26年9月15日 發行

第2輯 第4卷 第1號

東京大學理學部地球物理學教室內

編輯發行  
兼印刷者

地 震 學 會

代 表 者 河 角 廣

印 刷 所

中央商事<sup>合資</sup>印刷部

發 行 所

東京大學 理學部  
地球物理學教室內

地 震 學 會

（振替東京 11918 番）

# **“ZISIN”**

## **JOURNAL OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN**

**Second Series**

**Vol. 4 No. 1**

**1951**

Density Distribution and Concentration of Heavy Materials within the Earth.....	Y. SHIMAZU..... 1
On the Travel of Seismic Waves from the Fukui Earthquake of 1948 and the Crustal Structure in Japan. ....	R. YOSHIYAMA..... 9
Seismic Factors for Structural Design of Buildings in Japan. ....	K. TAKEYAMA.....17
Improvements of the Equipment for Acquiring the Uniform Rotation by Self-Maintained Vibration..	K. TAJIME.....23

---

Published  
by  
the Seismological Society of Japan,  
c/o Geophysical Institute, Faculty of Science, Tokyo University  
Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan